

明 細 書

発明の名称：基板処理装置及び基板処理方法

技術分野

[0001] 本開示は、基板処理装置及び基板処理方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、基板処理装置における基板処理方法であって、a) 酸化シリコンから構成された第1領域を含む被処理体を載置する載置台が配置された処理容器に、フロロカーボンと希ガスとを含むプロセスガスを供給する工程と、b) 第1のプラズマ生成条件で生成した前記プロセスガスの第1のプラズマによって、前記被処理体をプラズマ処理する工程と、c) 前記第1のプラズマ生成条件と異なる第2のプラズマ生成条件で生成した前記プロセスガスの第2のプラズマによって、前記被処理体上にバイアス電位が生じた該被処理体をプラズマ処理する工程と、d) 前記b)と前記c)とを繰り返す工程と、を有する基板処理方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2021-150418号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 一の側面では、本開示は、低圧力でプラズマを安定して生成する基板処理装置及び基板処理方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0005] 上記課題を解決するために、一の態様によれば、1mTorrから20mTorrの範囲内の圧力に調整されるプラズマ処理チャンバと、前記プラズマ処理チャンバ内に配置され、下部電極を含み、基板を支持する基板支持部と、前記基板支持部の上方に配置される上部電極と、同心状に配設された少なくとも2つ以上の環状のコイルを有する電磁石と、第1のRF周波数を有

するソース R F 信号を前記上部電極に供給する第 1 の R F 電源と、第 2 の R F 周波数を有するバイアス R F 信号を前記下部電極に供給する第 2 の R F 電源と、制御部と、を備え、前記制御部は、前記電磁石が前記プラズマ処理チャンバ内に生成した磁場を生成した状態で、前記上部電極に前記ソース R F 信号を供給して前記プラズマ処理チャンバ内にプラズマを生成し、前記基板に堆積物を堆積させる工程と、前記電磁石が前記プラズマ処理チャンバ内に生成した磁場を生成した状態で、前記上部電極に前記ソース R F 信号を供給して前記プラズマ処理チャンバ内にプラズマを生成し、前記基板をエッチングする工程と、を繰り返し、前記基板をエッチングする工程における前記ソース R F 信号の電力レベルは、前記基板に前記堆積物を堆積させる工程における前記ソース R F 信号の電力レベルより低い、基板処理装置を提供することができる。

発明の効果

[0006] 一の側面によれば、低圧力でプラズマを安定して生成する基板処理装置及び基板処理方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0007] [図1]容量結合型のプラズマ処理装置の構成例を説明するための図の一例。
[図2]磁場生成部による磁場の生成を停止した状態におけるプラズマの状態を示す模式図の一例。
[図3]磁場生成部による磁場の生成した状態におけるプラズマの状態を示す模式図の一例。
[図4]エッチング処理のタイムチャートの一例。
[図5A]基板に形成される構造の断面模式図の一例。
[図5B]基板に形成される構造の断面模式図の一例。
[図6A]プラズマが安定する範囲の一例を示す図。
[図6B]プラズマが安定する範囲の一例を示す図。
[図6C]プラズマが安定する範囲の一例を示す図。
[図6D]プラズマが安定する範囲の一例を示す図。

[図7]コイルの各条件における基板W表面の磁場を示すグラフの一例。

[図8]磁場生成部による磁場を印加する効果の一例を説明する図。

[図9A]電磁石が2つのコイルを備える構成と、電磁石が生成する磁場の一例を示す図。

[図9B]電磁石が2つのコイルを備える構成と、電磁石が生成する磁場の一例を示す図。

[図10A]電磁石が4つのコイルを備える構成と、電磁石が生成する磁場の一例を示す図。

[図10B]電磁石が4つのコイルを備える構成と、電磁石が生成する磁場の一例を示す図。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、図面を参照して種々の例示的实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。

[0009] [プラズマ処理システム]

以下に、プラズマ処理システムの構成例について説明する。図1は、容量結合型のプラズマ処理装置（基板処理装置）1の構成例を説明するための図の一例である。

[0010] プラズマ処理システムは、容量結合型のプラズマ処理装置1及び制御部2を含む。容量結合型のプラズマ処理装置1は、プラズマ処理チャンバ10、ガス供給部20、電源30及び排気システム40を含む。また、プラズマ処理装置1は、基板支持部11及びガス導入部を含む。ガス導入部は、少なくとも1つの処理ガスをプラズマ処理チャンバ10内に導入するように構成される。ガス導入部は、シャワーヘッド13を含む。基板支持部11は、プラズマ処理チャンバ10内に配置される。シャワーヘッド13は、基板支持部11の上方に配置される。一実施形態において、シャワーヘッド13は、プラズマ処理チャンバ10の天部（ceiling）の少なくとも一部を構成する。プラズマ処理チャンバ10は、シャワーヘッド13、プラズマ処理チ

チャンバ10の側壁10a及び基板支持部11により規定されたプラズマ処理空間10sを有する。プラズマ処理チャンバ10は、少なくとも1つの処理ガスをプラズマ処理空間10sに供給するための少なくとも1つのガス供給口と、プラズマ処理空間10sからガスを排出するための少なくとも1つのガス排出口とを有する。プラズマ処理チャンバ10は接地される。シャワーヘッド13及び基板支持部11は、プラズマ処理チャンバ10の筐体とは電氣的に絶縁される。

[0011] 基板支持部11は、本体部111及びリングアセンブリ112を含む。本体部111は、基板Wを支持するための中央領域111aと、リングアセンブリ112を支持するための環状領域111bとを有する。ウェハは基板Wの一例である。本体部111の環状領域111bは、平面視で本体部111の中央領域111aを囲んでいる。基板Wは、本体部111の中央領域111a上に配置され、リングアセンブリ112は、本体部111の中央領域111a上の基板Wを囲むように本体部111の環状領域111b上に配置される。従って、中央領域111aは、基板Wを支持するための基板支持面とも呼ばれ、環状領域111bは、リングアセンブリ112を支持するためのリング支持面とも呼ばれる。

[0012] 一実施形態において、本体部111は、基台1110及び静電チャック1111を含む。基台1110は、導電性部材を含む。基台1110の導電性部材は下部電極として機能し得る。静電チャック1111は、基台1110の上に配置される。静電チャック1111は、セラミック部材1111aとセラミック部材1111a内に配置される静電電極1111bとを含む。セラミック部材1111aは、中央領域111aを有する。一実施形態において、セラミック部材1111aは、環状領域111bも有する。なお、環状静電チャックや環状絶縁部材のような、静電チャック1111を囲む他の部材が環状領域111bを有してもよい。この場合、リングアセンブリ112は、環状静電チャック又は環状絶縁部材の上に配置されてもよく、静電チャック1111と環状絶縁部材の両方の上に配置されてもよい。また、後述す

るRF (Radio Frequency) 電源31及び／又はDC (Direct Current) 電源32に結合される少なくとも1つのRF／DC電極がセラミック部材1111a内に配置されてもよい。この場合、少なくとも1つのRF／DC電極が下部電極として機能する。後述するバイアスRF信号及び／又はDC信号が少なくとも1つのRF／DC電極に供給される場合、RF／DC電極はバイアス電極とも呼ばれる。なお、基台1110の導電性部材と少なくとも1つのRF／DC電極とが複数の下部電極として機能してもよい。また、静電電極1111bが下部電極として機能してもよい。従って、基板支持部11は、少なくとも1つの下部電極を含む。

[0013] リングアセンブリ112は、1又は複数の環状部材を含む。一実施形態において、1又は複数の環状部材は、1又は複数のエッジリングと少なくとも1つのカバーリングとを含む。エッジリングは、導電性材料又は絶縁材料で形成され、カバーリングは、絶縁材料で形成される。

[0014] また、基板支持部11は、静電チャック1111、リングアセンブリ112及び基板Wのうち少なくとも1つをターゲット温度に調節するように構成される温調モジュールを含んでもよい。温調モジュールは、ヒータ、伝熱媒体、流路1110a、又はこれらの組み合わせを含んでもよい。流路1110aには、ブラインやガスのような伝熱流体が流れる。一実施形態において、流路1110aが基台1110内に形成され、1又は複数のヒータが静電チャック1111のセラミック部材1111a内に配置される。また、基板支持部11は、基板Wの裏面と中央領域111aとの間の間隙に伝熱ガスを供給するように構成された伝熱ガス供給部を含んでもよい。

[0015] シャワーヘッド13は、ガス供給部20からの少なくとも1つの処理ガスをプラズマ処理空間10s内に導入するように構成される。シャワーヘッド13は、少なくとも1つのガス供給口13a、少なくとも1つのガス拡散室13b、及び複数のガス導入口13cを有する。ガス供給口13aに供給された処理ガスは、ガス拡散室13bを通過して複数のガス導入口13cからプラズマ処理空間10s内に導入される。また、シャワーヘッド13は、少

なくとも1つの上部電極を含む。なお、ガス導入部は、シャワーヘッド13に加えて、側壁10aに形成された1又は複数の開口部に取り付けられる1又は複数のサイドガス注入部(SGI: Side Gas Injector)を含んでもよい。

[0016] ガス供給部20は、少なくとも1つのガスソース21及び少なくとも1つの流量制御器22を含んでもよい。一実施形態において、ガス供給部20は、少なくとも1つの処理ガスを、それぞれに対応のガスソース21からそれぞれに対応の流量制御器22を介してシャワーヘッド13に供給するように構成される。各流量制御器22は、例えばマスフローコントローラ又は圧力制御式の流量制御器を含んでもよい。さらに、ガス供給部20は、少なくとも1つの処理ガスの流量を変調又はパルス化する1又はそれ以上の流量変調デバイスを含んでもよい。

[0017] 電源30は、少なくとも1つのインピーダンス整合回路を介してプラズマ処理チャンバ10に結合されるRF電源31を含む。RF電源31は、少なくとも1つのRF信号(RF電力)を少なくとも1つの下部電極及び／又は少なくとも1つの上部電極に供給するように構成される。これにより、プラズマ処理空間10sに供給された少なくとも1つの処理ガスからプラズマが形成される。従って、RF電源31は、プラズマ処理チャンバ10において1又はそれ以上の処理ガスからプラズマを生成するように構成されるプラズマ生成部の少なくとも一部として機能し得る。また、バイアスRF信号を少なくとも1つの下部電極に供給することにより、基板Wにバイアス電位が発生し、形成されたプラズマ中のイオン成分を基板Wに引き込むことができる。

[0018] 一実施形態において、RF電源31は、第1のRF生成部31a及び第2のRF生成部31bを含む。第1のRF生成部31a(第1のRF電源)は、少なくとも1つのインピーダンス整合回路を介して少なくとも1つの下部電極及び／又は少なくとも1つの上部電極に結合され、プラズマ生成用のソースRF信号(ソースRF電力)を生成するように構成される。一実施形態

において、ソースRF信号は、10MHz～150MHzの範囲内の第1のRF周波数（例えば、60MHz）を有する。一実施形態において、第1のRF生成部31aは、異なる周波数を有する複数のソースRF信号を生成するように構成されてもよい。生成された1又は複数のソースRF信号は、少なくとも1つの下部電極及び／又は少なくとも1つの上部電極に供給される。

[0019] 第2のRF生成部31b（第2のRF電源）は、少なくとも1つのインピーダンス整合回路を介して少なくとも1つの下部電極に結合され、バイアスRF信号（バイアスRF電力）を生成するように構成される。バイアスRF信号の周波数は、ソースRF信号の周波数と同じであっても異なってもよい。一実施形態において、バイアスRF信号は、ソースRF信号の周波数よりも低い周波数を有する。一実施形態において、バイアスRF信号は、100kHz～60MHzの範囲内の第2のRF周波数（例えば、12.88MHz）を有する。一実施形態において、第2のRF生成部31bは、異なる周波数を有する複数のバイアスRF信号を生成するように構成されてもよい。生成された1又は複数のバイアスRF信号は、少なくとも1つの下部電極に供給される。また、種々の実施形態において、ソースRF信号及びバイアスRF信号のうち少なくとも1つがパルス化されてもよい。

[0020] また、電源30は、プラズマ処理チャンバ10に結合されるDC電源32を含んでもよい。DC電源32は、第1のDC生成部32a及び第2のDC生成部32bを含む。一実施形態において、第1のDC生成部32aは、少なくとも1つの下部電極に接続され、第1のDC信号を生成するように構成される。生成された第1のバイアスDC信号は、少なくとも1つの下部電極に印加される。一実施形態において、第2のDC生成部32bは、少なくとも1つの上部電極に接続され、第2のDC信号を生成するように構成される。生成された第2のDC信号は、少なくとも1つの上部電極に印加される。

[0021] 種々の実施形態において、第1及び第2のDC信号のうち少なくとも1つがパルス化されてもよい。この場合、電圧パルスのシーケンスが少なくとも

1つの下部電極及び／又は少なくとも1つの上部電極に印加される。電圧パルスは、矩形、台形、三角形又はこれらの組み合わせのパルス波形を有してもよい。一実施形態において、DC信号から電圧パルスのシーケンスを生成するための波形生成部が第1のDC生成部32aと少なくとも1つの下部電極との間に接続される。従って、第1のDC生成部32a及び波形生成部は、電圧パルス生成部を構成する。第2のDC生成部32b及び波形生成部が電圧パルス生成部を構成する場合、電圧パルス生成部は、少なくとも1つの上部電極に接続される。電圧パルスは、正の極性を有してもよく、負の極性を有してもよい。また、電圧パルスのシーケンスは、1周期内に1又は複数の正極性電圧パルスと1又は複数の負極性電圧パルスとを含んでもよい。なお、第1及び第2のDC生成部32a、32bは、RF電源31に加えて設けられてもよく、第1のDC生成部32aが第2のRF生成部31bに代えて設けられてもよい。

[0022] 排気システム40は、例えばプラズマ処理チャンバ10の底部に設けられたガス排出口10eに接続され得る。排気システム40は、圧力調整弁及び真空ポンプを含んでもよい。圧力調整弁によって、プラズマ処理空間10s内の圧力が調整される。真空ポンプは、ターボ分子ポンプ、ドライポンプ又はこれらの組み合わせを含んでもよい。

[0023] また、プラズマ処理装置1は、プラズマ処理空間10sに磁場を生成する磁場生成部50を有する。磁場生成部50は、電磁石51と、電源52と、を有する。

[0024] 電磁石51は、複数（図1の例では2つ）のコイル511、512を有する。コイル511、512は、同心に配置される環状のコイルである。コイル512は、コイル511よりも径方向外側に配置される。コイル511、512は、プラズマ処理空間10sの外側（プラズマ処理チャンバ10の外側）に配置される。また、コイル511、512は、上部電極（シャワーヘッド13）よりも上側に配置される。また、コイル511、512は、基板支持部11の中心軸と同心に配置される。

- [0025] 電源52は、電磁石51に電力を供給する。電源52は、コイル511に電力を供給する電源521と、コイル512に電力を供給する電源522と、を有する。ここで、電源521は、コイル511に一の方向に電流が流れるように電力を供給する。また、電源522は、コイル512に一の方向とは逆向きの方向に電流が流れるように電力を供給する。これにより、基板W上においてコイル511が生成する磁場とコイル512が生成する磁場とが打ち消し合い、基板W上における磁場を低減する。
- [0026] なお、電磁石51に含まれる環状のコイルの数は、2つに限られるものではなく、それ以上の数であってもよい。電磁石51は、偶数の複数のコイルを有し、径方向に隣接するコイルが互いに逆向きに電流が流れる構成であってもよい。また、電磁石51は、互いに逆向きに電流が流れるコイルのペアを複数有する構成であってもよい。また、複数のコイルを有する電磁石51において、一の方向に電流が流れるコイルの数と、一の方向とは逆方向に電流が流れるコイルの数とが、等しくてもよい。また、電磁石51は、奇数の複数のコイルを有し、径方向に隣接するコイルが互いに逆向きに電流が流れる構成であってもよい。また、複数のコイルは、同一の高さに配置されているものとして説明したが、これに限られるものではなく、高さ方向に異なる位置にコイルが配置されていてもよい。
- [0027] 制御部2は、本開示において述べられる種々の工程をプラズマ処理装置1に実行させるコンピュータ実行可能な命令を処理する。制御部2は、ここで述べられる種々の工程を実行するようにプラズマ処理装置1の各要素を制御するように構成され得る。一実施形態において、制御部2の一部又は全てがプラズマ処理装置1に含まれてもよい。制御部2は、処理部2a1、記憶部2a2及び通信インターフェース2a3を含んでもよい。制御部2は、例えばコンピュータ2aにより実現される。処理部2a1は、記憶部2a2からプログラムを読み出し、読み出されたプログラムを実行することにより種々の制御動作を行うように構成され得る。このプログラムは、予め記憶部2a2に格納されていてもよく、必要なときに、媒体を介して取得されてもよい。

。取得されたプログラムは、記憶部2 a 2に格納され、処理部2 a 1によって記憶部2 a 2から読み出されて実行される。媒体は、コンピュータ2 aに読み取り可能な種々の記憶媒体であってもよく、通信インターフェース2 a 3に接続されている通信回線であってもよい。処理部2 a 1は、CPU (Central Processing Unit) であってもよい。記憶部2 a 2は、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、HDD (Hard Disk Drive)、SSD (Solid State Drive)、又はこれらの組み合わせを含んでもよい。通信インターフェース2 a 3は、LAN (Local Area Network) 等の通信回線を介してプラズマ処理装置1との間で通信してもよい。

[0028] 次に、磁場生成部5 0によってプラズマ処理空間1 0 sに生成されるプラズマを制御する方法について、図2及び図3を用いて説明する。

[0029] 図2は、磁場生成部5 0による磁場の生成を停止した状態におけるプラズマP 1の状態を示す模式図の一例である。

[0030] ここでは、上部電極(シャワーヘッド1 3)にソースRF信号(ソースRF電力)を供給することで、上部電極(シャワーヘッド1 3)と下部電極(基板支持部1 1)との間にプラズマP 1が生成される。プラズマP 1中の電子密度は、中心側の電子密度 E_{Center} が外周側の電子密度 E_{Edge} よりも高くなっている。 $(E_{Center} > E_{Edge})$ 。図2において、電子密度の濃淡をドットのハッチの濃淡で模式的に示している。

[0031] また、基板Wにエッチング処理を施す際、エッチングレートの傾向2 5 1を模式的に示す。エッチングレートの傾向2 5 1は、プラズマP 1中の電子密度と相関を有し、基板Wの中心側においてエッチングレートが高く、基板Wの外周側においてエッチングレートが低くなる傾向を示す。

[0032] また、プラズマP 1中の荷電粒子2 1 0(例えば、電子等)は、下部電極に供給されたバイアスRF信号(バイアスRF電力)によって下部電極の方向に移動し、シースに到達すると荷電粒子2 1 0は消滅(図2において、破

線で図示する) する。

[0033] 図3は、磁場生成部50による磁場の生成した状態におけるプラズマP2の状態を示す模式図の一例である。

[0034] ここでは、上部電極(シャワーヘッド13)にソースRF信号(ソースRF電力)を供給することで、上部電極(シャワーヘッド13)と下部電極(基板支持部11)との間にプラズマP2が生成される。

[0035] ここで、電磁石51が生成する磁束220の一例を実線矢印で示す。図3に示すように、磁束220は、外周側に向かう向きを有している。プラズマP2中の荷電粒子210は、水平方向の成分を有する磁束220のローレンツ力によって、外周側に移動する。これにより、プラズマP2中の電子密度は、外周側の電子密度 E_{Edge} が中心側の電子密度 E_{Center} よりも高くなっている。 $(E_{\text{Center}} < E_{\text{Edge}})$ 。図3において、電子密度の濃淡をドットのハッチの濃淡で模式的に示している。

[0036] また、基板Wにエッチング処理を施す際、エッチングレートの傾向252を模式的に示す。エッチングレートの傾向252は、プラズマP2中の電子密度と相関を有し、基板Wの外周側においてエッチングレートが高く、基板Wの中心側においてエッチングレートが低くなる傾向を示す。

[0037] また、プラズマP2中の荷電粒子210(例えば、電子等)は、下部電極に供給されたバイアスRF信号(バイアスRF電力)によって下部電極の方向に移動し、シースに到達すると荷電粒子210は消滅(図3において、破線で図示する)する。ここで、図2と図3を比較すると、図3に示す方が荷電粒子210がシースに到達するまでの移動距離が長くなっている。換言すれば、荷電粒子210の消滅を遅らせることができる。

[0038] ここで、基板Wに形成される半導体デバイスの微細化に伴い、プラズマの均一性の向上が求められている。また、プラズマエッチング処理において、低圧力(1mTorr~20mTorr)に制御されたプラズマ処理チャンバ10内で生成されたプラズマは均一性が高くなり、結果としてエッチングレートの均一性が改善する。

- [0039] 一方、低圧力下では、気体分子の密度が低く気体分子間の衝突が少なくなるため、プラズマを維持することが困難になる。また、基板Wに形成される半導体デバイスの微細化に伴い、プラズマを生成するソースRF信号（ソースRF電力）の強さを大きくすることに限界がある。
- [0040] 図3に示すように、磁場生成部50による磁場を印加することにより、プラズマP2中の荷電粒子210が磁束220に沿って移動する。これにより、荷電粒子210がシースに到達するまでの移動距離が長くなる。換言すれば、荷電粒子210がシースに到達するまでの間に他の気体分子等と衝突する確率が上昇し、プラズマの密度が上昇する。これにより、図3に示すプラズマP2は、図2に示すプラズマP1と比較して、低圧力下であってもプラズマの失活を抑制することができる。
- [0041] 次に、エッチング処理の一例について、図4及び図5A～図5Bを用いて説明する。図4は、エッチング処理のタイムチャートの一例である。図5A～図5Bは、基板Wに形成される構造の断面模式図の一例である。図4において、上段は、ソースRF信号（ソースRF電力）の電力（以下、HFパワーとも称する。）を示し、下段は、バイアスRF信号（バイアスRF電力）の電力（以下、LFパワーとも称する。）を示す。
- [0042] まず、制御部2は、搬送装置（図示せず）を制御して、基板Wを基板支持部11に搬送し、基板支持部11で基板Wを支持させる。次に、制御部2は、排気システム40を制御して、プラズマ処理チャンバ10内を所定の圧力に制御する。ここで、所定の圧力は、1mTorr～20mTorrの範囲内である。また、所定の圧力は、1mTorr～10mTorrの範囲内であることが好ましく、3mTorr～8mTorrの範囲内であることがより好ましい。次に、制御部2は、ガス供給部20を制御して、処理ガスを供給する。処理ガスは、例えば、 C_4F_6 、Ar、 O_2 を含む。また、制御部2は、電源52を制御して、電源52から電磁石51（コイル511，512）に電力を供給し、電磁石51に磁場を発生させる。
- [0043] 次に、制御部2は、電源30を制御して、上部電極にソースRF信号（ソ

ースRF電力)を供給し、下部電極にバイアスRF信号(バイアスRF電力)を供給して、基板Wにエッチング処理を施す。

[0044] ここで、エッチング処理は、基板Wに堆積物を堆積させる工程(S1, S2)と、基板Wをエッチングする工程(S3, S4)と、を繰り返す。

[0045] 図4に示すように、堆積物を堆積させる工程(S1, S2)のHFパワーは、エッチングする工程(S3, S4)のHFパワーよりも大きい。また、堆積物を堆積させる工程(S1, S2)のLFパワーは、エッチングする工程(S3, S4)のLFパワーよりも小さい。これにより、基板Wの表面において堆積物の堆積量がエッチング量よりも優勢となる。

[0046] 図5Aに示すように、基板Wには、エッチング対象膜510(例えばSiO₂)と、マスク520(例えばSiN)が積層され、マスク520からエッチング対象膜510にトレンチ、ホール等の凹部が形成されている。堆積物を堆積させる工程(S1, S2)では、基板Wの表面に堆積物530を堆積させる。

[0047] また、図4に示すように、エッチングする工程(S3, S4)のHFパワーは、堆積物を堆積させる工程(S1, S2)のHFパワーよりも小さい。また、エッチングする工程(S3, S4)のLFパワーは、堆積物を堆積させる工程(S1, S2)のLFパワーよりも大きい。これにより、基板Wの表面においてエッチング量が堆積物530の堆積量よりも優勢となる。

[0048] 図5Bに示すように、エッチングする工程(S3, S4)では、エッチング対象膜510の凹部の底部をエッチングする。

[0049] 図4を用いて各ステップS1～S4について、さらに説明する。堆積物を堆積させる工程(S1, S2)は、第1期間(S1)及び第2期間(S2)を有する。エッチングする工程(S3, S4)は、第3期間(S3)及び第4期間(S4)を有する。

[0050] ステップS1において、第1期間の間、上部電極に第1電力レベルのHFパワーを供給し、下部電極に第5電力レベルのLFパワーを供給する。ここで、第1電力レベルは、50～200Wの範囲内である。第5電力レベルは

、0～50Wの範囲内である。ここでは、HFパワーを大きくすることで、基板Wの表面において堆積物530の堆積量がエッチング量よりも優勢となる。これにより、マスク520の上面や、マスク520及びエッチング対象膜510に形成される凹部の側壁にCF_xを含有する堆積物530を堆積させる。

[0051] ステップS2において、第2期間の間、上部電極に第2電力レベルのHFパワーを供給し、下部電極に第6電力レベルのLFパワーを供給する。ここで、第2電力レベルは、50～200Wの範囲内である。また、第2電力レベルは、第1電力レベルと等しい。第6電力レベルは、第5電力レベルよりも高い。ここでは、HFパワーを大きくすることで、基板Wの表面において堆積物530の堆積量がエッチング量よりも優勢となる。また、LFパワーを増加させることでイオンを凹部に引き込み、凹部の底部においては堆積物530をエッチングする。

[0052] ステップS3において、第3期間の間、上部電極に第3電力レベルのHFパワーを供給し、下部電極に第7電力レベルのLFパワーを供給する。ここで、第3電力レベルは、50～200Wの範囲内である。また、第3電力レベルは、第1電力レベル及び第2電力レベルよりも低い。第7電力レベルは、第6電力レベルよりも高い。ここでは、HFパワーを小さくすることで、基板Wの表面においてエッチング量が堆積物530の堆積量よりも優勢となる。また、LFパワーを更に増加させることでイオンを凹部に引き込み、エッチング対象膜510の凹部の底部をエッチングする。

[0053] ステップS4において、第4期間の間、上部電極に第4電力レベルのHFパワーを供給し、下部電極に第8電力レベルのLFパワーを供給する。ここで、第4電力レベルは、50～200Wの範囲内である。また、第4電力レベルは、第1電力レベル及び第2電力レベルよりも低く、第3電力レベルと等しい。第8電力レベルは、第7電力レベルよりも高い。ここでは、HFパワーを小さくすることで、基板Wの表面においてエッチング量が堆積物530の堆積量よりも優勢となる。また、LFパワーを更に増加させることでイ

オンを凹部内に引き込み、エッチング対象膜510の凹部の底部をエッチングする。

[0054] このように、ステップS1～S4の処理を1サイクルとして、このサイクルを繰り返すことにより、マスク520や凹部の側壁を堆積物530で保護しつつ、エッチング対象膜510の凹部の底部をエッチングする。

[0055] また、エッチングする工程（S3，S4）において、HFパワーを低下させたとしても、磁場生成部50による磁場を印加することで、低圧力下であってもプラズマの失活を抑制することができる。また、低圧力に制御されたプラズマ処理チャンバ10内で生成されたプラズマは均一性が高くなり、結果としてエッチングレートの均一性が改善する。

[0056] 次に、磁場生成部50による磁場を印加することで、プラズマが安定して生成される一例について、図6A～図6Dを用いて説明する。図6A～図6Dは、プラズマが安定する範囲の一例を示す図である。図6Aは、コイル511，512が磁場を生成しない場合を示す。図6Bは、コイル511が -18 [G]の磁場を生成し、コイル512が $+18$ [G]の磁場を生成する場合を示す。図6Cは、コイル511が -18 [G]の磁場を生成し、コイル512が $+36$ [G]の磁場を生成する場合を示す。図6Dは、コイル511が -36 [G]の磁場を生成し、コイル512が $+36$ [G]の磁場を生成する場合を示す。また、左の表はプラズマ処理チャンバ10内の圧力が 3 mTorr の場合を示し、右の表はプラズマ処理チャンバ10内の圧力が 8 mTorr の場合を示す。Xは第8電力レベルであり、Yは第7電力レベルである。

[0057] ここでは、第1電力レベル及び第2電力レベルを 100 [W]、第3電力レベル及び第4電力レベルを 50 [W]、第5電力レベルを 0 [W]、第6電力レベルを 40 [W]、第7電力レベルをY [W]、第8電力レベルをX [W]、として、プラズマが安定して生成されるかを実験にて確認した。

[0058] プラズマが安定して生成されたものに「○」を付し、プラズマが安定して生成されなかったものに「－」または「×」を付している。また、プラズマ

が安定して生成されたものについては、網掛けを付して明示している。

[0059] 8 m T o r r において、図 6 A から図 6 D に示すように、多くの X, Y の組み合わせ領域において、プラズマが安定して生成された。

[0060] 一方、3 m T o r r において、磁場を生成しない場合の図 6 A に示すように、多くの X, Y の組み合わせ領域において、プラズマが安定して生成されなかった。

[0061] これに対し、3 m T o r r において、磁場を生成する場合の図 6 B から図 6 D に示すように、プラズマが安定して生成される X, Y の組み合わせ領域が図 6 A と比較して増加している。

[0062] このように、磁場生成部 5 0 による磁場をプラズマ処理チャンバ 1 0 内に印加することで、低圧力下（例えば 3 m T o r r）であってもプラズマを安定して生成することができる範囲が拡大する。

[0063] 次に、コイル 5 1 1, 5 1 2 が生成する磁場と基板 W 表面における磁場の関係について、図 7 を用いて説明する。図 7 は、コイル 5 1 1, 5 1 2 の各条件における基板 W 表面の磁場を示すグラフの一例である。ここで、Z o n e 1 は、コイル 5 1 1 が生成する磁場を示す。Z o n e 2 は、コイル 5 1 2 が生成する磁場を示す。コイル 5 1 1 が生成する磁場が -18 [G]、 0 [G]、 $+18$ [G] であって、コイル 5 1 2 が生成する磁場が -18 [G]、 0 [G]、 $+18$ [G]、 $+18$ [G] であって、これらの組み合わせに対し、基板 W の中心から半径方向の位置 (W a f e r L o c a t i o n) と、その位置における磁場 B のシミュレーション結果を示す。なお、基板 W の半径は 150 [mm] とする。

[0064] 図 7 に示すように、(Z o n e 1, Z o n e 2) の組み合わせが、(-18 [G]、 $+18$ [G])、($+18$ [G]、 -18 [G]) において、基板 W の領域における磁場の影響が少ないことを示す。即ち、コイル 5 1 1 を流れる電流の向きと、コイル 5 1 2 を流れる電流の向きとが、逆向きとなる場合において、基板 W の領域における磁場の影響が少ないことを示す。これにより基板 W のエッチング特性（エッチレート、均一性）に対する磁場の影

響が抑制できる。

[0065] なお、図7では、基板Wの領域における磁場の影響を低減するように、コイル511、512に流れる電流を制御する場合を例に説明したが、これに限られるものではない。プラズマの密度を調整するように、コイル511、512に流れる電流を制御してもよい。

[0066] 図8は、磁場生成部50による磁場を印加する効果の一例を説明する図である。ここでは、(Zone1, Zone2)の組み合わせが、(0[G]、0[G])、(-18[G]、+18[G])、(-18[G]、+36[G])の場合を例に説明する。

[0067] (0[G]、0[G])において、基板支持部11上の磁場はゼロである。このため、プラズマ処理チャンバ10内の荷電粒子は、径方向において中心付近で多くなる。

[0068] (-18[G]、+18[G])において、基板W上の磁場は略ゼロであり、基板Wよりも外側で磁場が増加する。このため、プラズマ処理チャンバ10内の荷電粒子は、径方向において外周付近で多くなる。

[0069] (-18[G]、+36[G])において、基板Wの外縁からリングアセンブリ112(エッジリング)付近で磁場が増加する。このため、プラズマ処理チャンバ10内の荷電粒子は、径方向において外周付近で多くなる。

[0070] このように、コイル511、512が生成する磁場を制御することで、径方向におけるプラズマの密度を調整することができる。

[0071] 図9A～図9Bは、電磁石51Aが2つのコイル511～512を備える構成と、電磁石51Aが生成する磁場の一例を示す図である。図9Aは、コイル511～512の配置の一例を示す基板処理装置の部分拡大図の一例である。図9Bは、基板Wの中心から半径方向の位置(Location)と、その位置における磁場Bのシミュレーション結果を示す。なお、基板Wの半径は150[mm]とする。なお、図9A及び図9Bにおいて、磁場Bがピークとなる位置を破線で示している。

[0072] 図10A～図10Bは、電磁石51Bが4つのコイル511～514を備

える構成と、電磁石 5 1 B が生成する磁場の一例を示す図である。図 1 0 A は、コイル 5 1 1 ~ 5 1 4 の配置の一例を示す基板処理装置の部分拡大図の一例である。図 1 0 B は、基板 W の中心から半径方向の位置 (L o c a t i o n) と、その位置における磁場 B のシミュレーション結果を示す。なお、基板 W の半径は 1 5 0 [m m] とする。なお、図 1 0 A 及び図 1 0 B において、磁場 B がピークとなる位置を破線で示している。

[0073] 図 9 A と図 1 0 A を対比して示すように、4 つのコイル 5 1 1 ~ 5 1 4 を有する構成では、2 つのコイル 5 1 1 ~ 5 1 2 を有する構成と比較して、径方向外側にまでコイルが配置されている。これにより、図 9 B と図 1 0 B を対比して示すように、4 つのコイル 5 1 1 ~ 5 1 4 を有する構成では、2 つのコイル 5 1 1 ~ 5 1 2 を有する構成と比較して、側壁 1 0 a 付近のプラズマ密度を高くすることができる。

[0074] このように、電磁石のコイルの数や位置を変更することで、プラズマ密度が高くなる位置を調整することができる。

[0075] 以上に開示された実施形態は、例えば、以下の態様を含む。

(付記 1)

1 m T o r r から 2 0 m T o r r の範囲内の圧力に調整されるプラズマ処理チャンバと、

前記プラズマ処理チャンバ内に配置され、下部電極を含み、基板を支持する基板支持部と、

前記基板支持部の上方に配置される上部電極と、

同心状に配設された少なくとも 2 つ以上の環状のコイルを有する電磁石と、

、

第 1 の R F 周波数を有するソース R F 信号を前記上部電極に供給する第 1 の R F 電源と、

第 2 の R F 周波数を有するバイアス R F 信号を前記下部電極に供給する第 2 の R F 電源と、

制御部と、を備え、

前記制御部は、

前記電磁石が前記プラズマ処理チャンバ内に生成した磁場を生成した状態で、前記上部電極に前記ソース R F 信号を供給して前記プラズマ処理チャンバ内にプラズマを生成し、前記基板に堆積物を堆積させる工程と、

前記電磁石が前記プラズマ処理チャンバ内に生成した磁場を生成した状態で、前記上部電極に前記ソース R F 信号を供給して前記プラズマ処理チャンバ内にプラズマを生成し、前記基板をエッチングする工程と、を繰り返し、

前記基板をエッチングする工程における前記ソース R F 信号の電力レベルは、前記基板に前記堆積物を堆積させる工程における前記ソース R F 信号の電力レベルより低い、

基板処理装置。

(付記 2)

前記基板をエッチングする工程における前記バイアス R F 信号の電力レベルは、前記基板に前記堆積物を堆積させる工程における前記バイアス R F 信号の電力レベルより高い、

付記 1 に記載の基板処理装置。

(付記 3)

前記基板に前記堆積物を堆積させる工程は、第 1 期間及び第 2 期間を有し、

前記基板をエッチングする工程は、第 3 期間及び第 4 期間を有し、

前記ソース R F 信号の電力レベルは、前記第 1 期間で第 1 電力レベル、前記第 2 期間で第 2 電力レベル、前記第 3 期間で第 3 電力レベル、前記第 4 期間で第 4 電力レベル、であり、

前記バイアス R F 信号の電力レベルは、前記第 1 期間で第 5 電力レベル、前記第 2 期間で第 6 電力レベル、前記第 3 期間で第 7 電力レベル、前記第 4 期間で第 8 電力レベル、である、

付記 1 または付記 2 に記載の基板処理装置。

(付記 4)

前記第2電力レベルは前記第1電力レベルと等しく、
前記第3電力レベルは前記第2電力レベルよりも小さく、
前記第4電力レベルは前記第3電力レベルと等しく、
前記第6電力レベルは前記第5電力レベルよりも大きく、
前記第7電力レベルは前記第6電力レベルよりも大きく、
前記第8電力レベルは前記第7電力レベルよりも大きい、
付記1乃至付記3のいずれかに記載の基板処理装置。

(付記5)

前記第5電力レベルは、0[W]である、
付記4に記載の基板処理装置。

(付記6)

前記電磁石は、径方向に隣接する前記コイルに互いに逆向きの電流が流れる、
付記1乃至付記5のいずれかに記載の基板処理装置。

(付記7)

前記プラズマ処理チャンバ内の圧力は、1mTorrから10mTorrの範囲内である、
付記1乃至付記6のいずれかに記載の基板処理装置。

(付記8)

前記プラズマ処理チャンバ内の圧力は、3mTorrから8mTorrの範囲内である、
付記1乃至付記6のいずれ項に記載の基板処理装置。

(付記9)

1mTorrから20mTorrの範囲内の圧力に調整されるプラズマ処理チャンバと、前記プラズマ処理チャンバ内に配置され、下部電極を含み、基板を支持する基板支持部と、前記基板支持部の上方に配置される上部電極と、同心状に配設された少なくとも2つ以上の環状のコイルを有する電磁石と、第1のRF周波数を有するソースRF信号を前記上部電極に供給する第

1のRF電源と、第2のRF周波数を有するバイアスRF信号を前記下部電極に供給する第2のRF電源と、を備える基板処理装置の基板処理方法であって、

前記電磁石が前記プラズマ処理チャンバ内に生成した磁場を生成した状態で、前記上部電極に前記ソースRF信号を供給して前記プラズマ処理チャンバ内にプラズマを生成し、前記基板に堆積物を堆積させる工程と、

前記電磁石が前記プラズマ処理チャンバ内に生成した磁場を生成した状態で、前記上部電極に前記ソースRF信号を供給して前記プラズマ処理チャンバ内にプラズマを生成し、前記基板をエッチングする工程と、を繰り返し、

前記基板をエッチングする工程における前記ソースRF信号の電力レベルは、前記基板に前記堆積物を堆積させる工程における前記ソースRF信号の電力レベルより低い、

基板処理方法。

[0076] なお、上記実施形態に挙げた構成等に、その他の要素との組み合わせ等、ここで示した構成に本発明が限定されるものではない。これらの点に関しては、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で変更することが可能であり、その応用形態に応じて適切に定めることができる。

[0077] 尚、本願は、2023年11月21日に出願した日本国特許出願2023-197225号に基づく優先権を主張するものであり、これらの日本国特許出願の全内容を本願に参照により援用する。

符号の説明

- [0078] W 基板
- 1 プラズマ処理装置
- 2 制御部
- 10 プラズマ処理チャンバ
- 10a 側壁
- 10s プラズマ処理空間
- 11 基板支持部（下部電極）

- 1 3 シャワーヘッド（上部電極）
- 2 0 ガス供給部
- 3 0 電源
- 3 1 R F 電源
- 3 1 a 第 1 の R F 生成部（第 1 の R F 電源）
- 3 1 b 第 2 の R F 生成部（第 2 の R F 電源）
- 4 0 排気システム
- 5 1 0 エッチング対象膜
- 5 2 0 マスク
- 5 3 0 堆積物
- 5 0 磁場生成部
- 5 1 電磁石
- 5 1 1 ～ 5 1 4 コイル
- 5 2 , 5 2 1 , 5 2 2 電源

請求の範囲

- [請求項1] 1 m T o r r から 2 0 m T o r r の範囲内の圧力に調整されるプラズマ処理チャンバと、
- 前記プラズマ処理チャンバ内に配置され、下部電極を含み、基板を支持する基板支持部と、
- 前記基板支持部の上方に配置される上部電極と、
- 同心状に配設された少なくとも2つ以上の環状のコイルを有する電磁石と、
- 第1のRF周波数を有するソースRF信号を前記上部電極に供給する第1のRF電源と、
- 第2のRF周波数を有するバイアスRF信号を前記下部電極に供給する第2のRF電源と、
- 制御部と、を備え、
- 前記制御部は、
- 前記電磁石が前記プラズマ処理チャンバ内に生成した磁場を生成した状態で、前記上部電極に前記ソースRF信号を供給して前記プラズマ処理チャンバ内にプラズマを生成し、前記基板に堆積物を堆積させる工程と、
- 前記電磁石が前記プラズマ処理チャンバ内に生成した磁場を生成した状態で、前記上部電極に前記ソースRF信号を供給して前記プラズマ処理チャンバ内にプラズマを生成し、前記基板をエッチングする工程と、を繰り返し、
- 前記基板をエッチングする工程における前記ソースRF信号の電力レベルは、前記基板に前記堆積物を堆積させる工程における前記ソースRF信号の電力レベルより低い、
- 基板処理装置。
- [請求項2] 前記基板をエッチングする工程における前記バイアスRF信号の電力レベルは、前記基板に前記堆積物を堆積させる工程における前記バ

イアス R F 信号の電力レベルより高い、

請求項 1 に記載の基板処理装置。

[請求項3] 前記基板に前記堆積物を堆積させる工程は、第 1 期間及び第 2 期間を有し、

前記基板をエッチングする工程は、第 3 期間及び第 4 期間を有し、

前記ソース R F 信号の電力レベルは、前記第 1 期間で第 1 電力レベル、前記第 2 期間で第 2 電力レベル、前記第 3 期間で第 3 電力レベル、前記第 4 期間で第 4 電力レベル、であり、

前記バイアス R F 信号の電力レベルは、前記第 1 期間で第 5 電力レベル、前記第 2 期間で第 6 電力レベル、前記第 3 期間で第 7 電力レベル、前記第 4 期間で第 8 電力レベル、である、

請求項 1 に記載の基板処理装置。

[請求項4] 前記第 2 電力レベルは前記第 1 電力レベルと等しく、
前記第 3 電力レベルは前記第 2 電力レベルよりも小さく、
前記第 4 電力レベルは前記第 3 電力レベルと等しく、
前記第 6 電力レベルは前記第 5 電力レベルよりも大きく、
前記第 7 電力レベルは前記第 6 電力レベルよりも大きく、
前記第 8 電力レベルは前記第 7 電力レベルよりも大きい、
請求項 3 に記載の基板処理装置。

[請求項5] 前記第 5 電力レベルは、0 [W] である、
請求項 4 に記載の基板処理装置。

[請求項6] 前記電磁石は、径方向に隣接する前記コイルに互いに逆向きの電流が流れる、
請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載の基板処理装置。

[請求項7] 前記プラズマ処理チャンバ内の圧力は、1 m T o r r から 1 0 m T o r r の範囲内である、
請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載の基板処理装置。

[請求項8] 前記プラズマ処理チャンバ内の圧力は、3 m T o r r から 8 m T o

r r の範囲内である、

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載の基板処理装置。

[請求項9]

1 m T o r r から 2 0 m T o r r の範囲内の圧力に調整されるプラズマ処理チャンバと、前記プラズマ処理チャンバ内に配置され、下部電極を含み、基板を支持する基板支持部と、前記基板支持部の上方に配置される上部電極と、同心状に配設された少なくとも 2 つ以上の環状のコイルを有する電磁石と、第 1 の R F 周波数を有するソース R F 信号を前記上部電極に供給する第 1 の R F 電源と、第 2 の R F 周波数を有するバイアス R F 信号を前記下部電極に供給する第 2 の R F 電源と、を備える基板処理装置の基板処理方法であって、

前記電磁石が前記プラズマ処理チャンバ内に生成した磁場を生成した状態で、前記上部電極に前記ソース R F 信号を供給して前記プラズマ処理チャンバ内にプラズマを生成し、前記基板に堆積物を堆積させる工程と、

前記電磁石が前記プラズマ処理チャンバ内に生成した磁場を生成した状態で、前記上部電極に前記ソース R F 信号を供給して前記プラズマ処理チャンバ内にプラズマを生成し、前記基板をエッチングする工程と、を繰り返し、

前記基板をエッチングする工程における前記ソース R F 信号の電力レベルは、前記基板に前記堆積物を堆積させる工程における前記ソース R F 信号の電力レベルより低い、
基板処理方法。