

明 細 書

発明の名称： プラズマ処理装置及びエッチング方法

技術分野

[0001] 本開示は、プラズマ処理装置及びエッチング方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、チャンバ内に配されてウェハを載置する載置台と、載置台上においてウェハを囲むように配されるエッジリングとを備え、ウェハにプラズマ処理を施すプラズマ処理装置が開示されている。このプラズマ処理装置では、プラズマによって消耗したエッジリングに負の直流電圧を印加することで、シースの歪みを解消し、イオンをウェハの全面において垂直に入射させることを図っている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2008-227063号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本開示にかかる技術は、プラズマ処理においてバイアス電力の電圧を適切に制御する。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一態様のプラズマ処理装置は、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る基板支持体であり、前記基板支持体は、下部電極と、静電チャックと、前記静電チャック上に載置された基板を囲むように配置されるエッジリングとを含む、基板支持体と、前記基板支持体の上方に配置される上部電極と、前記プラズマ処理チャンバ内のガスからプラズマを生成するためにソースRF電力を前記上部電極又は前記下部電極に供給するように構成されるソースRF電源と、バイアス電力を前記下部電極に供給するように構成されるバイアス電源と、前記エッジリングに負極性の直

流電圧を印加するように構成される直流電源と、前記エッジリングと前記直流電源との間に電氣的に接続され、少なくとも1つの可変受動素子（variable passive component）を含むRFフィルタと、前記直流電源及び前記可変受動素子を制御して、前記静電チャック上に載置された基板のエッジ領域に対する前記プラズマ中のイオンの入射角度を制御するとともに、前記バイアス電力の電圧を許容範囲に制御するように構成される制御部と、を備える。

発明の効果

[0006] 本開示によれば、プラズマ処理においてバイアス電力の電圧を適切に制御することができる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]本実施形態にかかるエッチング装置の構成の概略を示す縦断面図である。

[図2]本実施形態にかかるエッチング装置の電源系の説明図である。

[図3A]エッジリングの消耗によるシースの形状の変化及びイオンの入射方向の傾きの発生を示す説明図である。

[図3B]エッジリングの消耗によるシースの形状の変化及びイオンの入射方向の傾きの発生を示す説明図である。

[図4A]シースの形状の変化及びイオンの入射方向の傾きの発生を示す説明図である。

[図4B]シースの形状の変化及びイオンの入射方向の傾きの発生を示す説明図である。

[図5]直流電源からの直流電圧又は第2のRFフィルタのインピーダンスと、チルト補正角度との関係を示す説明図である。

[図6]直流電源からの直流電圧又は第2のRFフィルタのインピーダンスと、 $L F \quad V_{pp}$ との関係を示す説明図である。

[図7]エッジリングの厚み、直流電源からの直流電圧、第2のRFフィルタのインピーダンス、及び $L F \quad V_{pp}$ との関係を示す説明図である。

[図8]直流電源からの直流電圧と第2のRFフィルタのインピーダンスの調整方法の一例を示す説明図である。

[図9]直流電源からの直流電圧と第2のRFフィルタのインピーダンスの調整方法の一例を示す説明図である。

[図10]直流電源からの直流電圧と第2のRFフィルタのインピーダンスの調整方法の一例を示す説明図である。

[図11]他の実施形態にかかる接続部の構成を示す縦断面図である。

[図12]エッチング装置におけるLF Vpp制御用のセンサを示す説明図である。

[図13]他の実施形態にかかるエッチング装置の電源系の説明図である。

[図14]他の実施形態にかかる接続部の構成を示す縦断面図である。

発明を実施するための形態

[0008] 半導体デバイスの製造工程では、半導体ウェハ（以下、「ウェハ」という。）にエッチング等のプラズマ処理が行われる。プラズマ処理では、処理ガスを励起させることによりプラズマを生成し、当該プラズマによってウェハを処理する。

[0009] プラズマ処理は、プラズマ処理装置で行われる。プラズマ処理装置は、一般的に、チャンバ、ステージ、高周波（Radio Frequency：RF）電源を備える。一例では、RF電源は、ソースRF電源及びバイアスRF電源を備える。ソースRF電源は、チャンバ内のガスのプラズマを生成するために、ソースRF電力を供給する。バイアスRF電源は、ウェハにイオンを引き込むために、バイアスRF電力を供給する。ステージは、チャンバ内に設けられている。ステージは、下部電極及び静電チャックを有する。一例では、静電チャック上には、当該静電チャック上に載置されたウェハを囲むようにエッジリングが配置される。エッジリングは、ウェハに対するプラズマ処理の均一性を向上させるために設けられる。

[0010] エッジリングは、プラズマ処理が実施される時間の経過に伴い、消耗し、エッジリングの厚みが減少する。エッジリングの厚みが減少すると、エッジ

リング及びウェハのエッジ領域の上方においてシースの形状が変化する。このようにシースの形状が変化すると、ウェハのエッジ領域におけるイオンの入射方向が縦方向に対して傾斜する。その結果、ウェハのエッジ領域に形成される凹部が、ウェハの厚み方向に対して傾斜する。

[0011] ウェハのエッジ領域においてウェハの厚み方向に延びる凹部を形成するためには、エッジリング及びウェハのエッジ領域の上方におけるシースの形状を制御して、ウェハのエッジ領域へのイオンの入射方向の傾きを調整する必要がある。そこで、エッジリング及びウェハのエッジ領域の上方におけるシースの形状を制御するために、例えば特許文献1では、直流電源からエッジリングに負の直流電圧を印加するように構成されたプラズマ処理装置が提案されている。

[0012] ところで、発明者らが鋭意検討したところ、例えばイオンの入射方向の傾きを調整するために直流電圧を大きくすると、バイアスRF電力の電圧 V_{pp} が大きくなることが分かった。しかしながら従来、電圧 V_{pp} を調整する方法として、RF電力を調整することが行われているが、かかるRF電力の調整では、ウェハへの入熱の影響や、プロセス性能への影響が生じ得る。

[0013] 本開示にかかる技術は、プラズマ処理においてバイアス電力の電圧を適切に制御する。

[0014] 以下、本実施形態にかかるプラズマ処理装置としてのエッチング装置及びエッチング方法について、図面を参照しながら説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する要素においては、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

[0015] <エッチング装置>

まず、本実施形態にかかるエッチング装置について説明する。図1は、エッチング装置1の構成の概略を示す縦断面図である。図2は、エッチング装置1の電源系の説明図である。エッチング装置1は、容量結合型のエッチング装置である。エッチング装置1では、基板としてのウェハWに対してエッチングを行う。

- [0016] 図1に示すようにエッチング装置1は、略円筒形状のプラズマ処理チャンバ10を有している。プラズマ処理チャンバ10は、その内部においてプラズマが生成される処理空間Sを画成する。プラズマ処理チャンバ10は、例えばアルミニウムから構成されている。プラズマ処理チャンバ10は接地電位に接続されている。
- [0017] プラズマ処理チャンバ10の内部には、ウェハWを載置する基板支持体としてのステージ11が収容されている。ステージ11は、下部電極12、静電チャック13、及びエッジリング14を有している。なお、下部電極12の下面側には、例えばアルミニウムから構成される電極プレート（図示せず）が設けられていてもよい。
- [0018] 下部電極12は、導電性の材料、例えばアルミニウム等の金属で構成されており、略円板形状を有している。
- [0019] なお、ステージ11は、静電チャック13、エッジリング14、及びウェハWのうち少なくとも1つを所望の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、流路、又はこれらの組み合わせを含んでもよい。流路には、冷媒、伝熱ガスのような温調媒体が流れる。
- [0020] 一例では、下部電極12の内部に、流路15aが形成される。流路15aには、プラズマ処理チャンバ10の外部に設けられたチラーユニット（図示せず）から入口配管15bを介して温調媒体が供給される。流路15aに供給された温調媒体は、出口流路15cを介してチラーユニットに戻るようになっている。流路15aの中に温調媒体、例えば冷却水等の冷媒を循環させることにより、静電チャック13、エッジリング14、及びウェハWを所望の温度に冷却することができる。
- [0021] 静電チャック13は、下部電極12上に設けられている。一例では、静電チャック13は、ウェハWとエッジリング14の両方を静電力により吸着保持可能に構成された部材である。静電チャック13は、周縁部の上面に比べて中央部の上面が高く形成されている。静電チャック13の中央部の上面は

、ウェハWが載置されるウェハ載置面となり、一例では、静電チャック13の周縁部の上面は、エッジリング14が載置されるエッジリング載置面となる。

[0022] 一例では、静電チャック13の内部において中央部には、ウェハWを吸着保持するための第1の電極16aが設けられている。静電チャック13の内部において周縁部には、エッジリング14を吸着保持するための第2の電極16bが設けられている。静電チャック13は、絶縁材料からなる絶縁材の間に電極16a、16bを挟んだ構成を有する。

[0023] 第1の電極16aには、直流電源（図示せず）からの直流電圧が印加される。これにより生じる静電力により、静電チャック13の中央部の上面にウェハWが吸着保持される。同様に、第2の電極16bには、直流電源（図示せず）からの直流電圧が印加される。一例では、これにより生じる静電力により、静電チャック13の周縁部の上面にエッジリング14が吸着保持される。

[0024] なお、本実施形態において、第1の電極16aが設けられる静電チャック13の中央部と、第2の電極16bが設けられる周縁部とは一体となっているが、これら中央部と周縁部とは別体であってもよい。また、第1の電極16a及び第2の電極16bは、いずれも単極であってもよく、双極であってもよい。

[0025] また、本実施形態においてエッジリング14は、第2の電極16bに直流電圧を印加することで静電チャック13に静電吸着されるが、エッジリング14の保持方法はこれに限定されない。例えば、吸着シートを用いてエッジリング14を吸着保持してもよいし、エッジリング14をクランプして保持してもよい。あるいは、エッジリング14の自重によりエッジリング14が保持されてもよい。

[0026] エッジリング14は、静電チャック13の中央部の上面に載置されたウェハWを囲むように配置される、環状部材である。エッジリング14は、エッチングの均一性を向上させるために設けられる。このため、エッジリング1

4は、エッチングに応じて適宜選択される材料から構成されており、例えばSiやSiCから構成され得る。

[0027] 以上のように構成されたステージ11は、プラズマ処理チャンバ10の底部に設けられた略円筒形状の支持部材17に締結される。支持部材17は、例えばセラミックや石英等の絶縁体により構成される。

[0028] ステージ11の上方には、ステージ11と対向するように、シャワーヘッド20が設けられている。シャワーヘッド20は、処理空間Sに面して配置される電極板21、及び電極板21の上方に設けられる電極支持体22を有している。電極板21は、下部電極12と一对の上部電極として機能する。後述するようにソースRF電源50が下部電極12に電氣的に結合されている場合には、シャワーヘッド20は、接地電位に接続される。なお、シャワーヘッド20は、絶縁性遮蔽部材23を介して、プラズマ処理チャンバ10の上部（天井面）に支持されている。

[0029] 電極板21には、後述のガス拡散室22aから送られる処理ガスを処理空間Sに供給するための複数のガス噴出口21aが形成されている。電極板21は、例えば、発生するジュール熱の少ない低い電気抵抗率を有する導電体又は半導体から構成される。

[0030] 電極支持体22は、電極板21を着脱自在に支持する。電極支持体22は、例えばアルミニウム等の導電性材料の表面に耐プラズマ性を有する膜が形成された構成を有している。この膜は、陽極酸化処理によって形成された膜、又は、酸化イットリウムなどのセラミック製の膜であり得る。電極支持体22の内部には、ガス拡散室22aが形成されている。ガス拡散室22aからは、ガス噴出口21aに連通する複数のガス流通孔22bが形成されている。また、ガス拡散室22aには、後述するガス供給管33に接続されるガス導入孔22cが形成されている。

[0031] また、電極支持体22には、ガス拡散室22aに処理ガスを供給するガス供給源群30が、流量制御機器群31、バルブ群32、ガス供給管33、及びガス導入孔22cを介して接続されている。

- [0032] ガス供給源群30は、エッチングに必要な複数種のガス供給源を有している。流量制御機器群31は複数の流量制御器を含み、バルブ群32は複数のバルブを含んでいる。流量制御機器群31の複数の流量制御器の各々は、マスフローコントローラ又は圧力制御式の流量制御器である。エッチング装置1においては、ガス供給源群30から選択された一以上のガス供給源からの処理ガスが、流量制御機器群31、バルブ群32、ガス供給管33、及びガス導入孔22cを介してガス拡散室22aに供給される。そして、ガス拡散室22aに供給された処理ガスは、ガス流通孔22b及びガス噴出口21aを介して、処理空間S内にシャワー状に分散されて供給される。
- [0033] プラズマ処理チャンバ10の底部であって、プラズマ処理チャンバ10の内壁と支持部材17との間には、バッフルプレート40が設けられている。バッフルプレート40は、例えばアルミニウム材に酸化イットリウム等のセラミックスを被覆することにより構成される。バッフルプレート40には、複数の貫通孔が形成されている。処理空間Sは当該バッフルプレート40を介して排気口41に連通されている。排気口41には例えば真空ポンプ等の排気装置42が接続され、当該排気装置42により処理空間S内を減圧可能に構成されている。
- [0034] また、プラズマ処理チャンバ10の側壁にはウェハWの搬入出口43が形成され、当該搬入出口43はゲートバルブ44により開閉可能となっている。
- [0035] 図1及び図2に示すように、エッチング装置1は、ソースRF電源50、バイアスRF電源51、及び整合器52を更に有している。ソースRF電源50とバイアスRF電源51は、整合器52を介して下部電極12に結合されている。
- [0036] ソースRF電源50は、プラズマ発生用のソースRF電力HFを発生して、当該ソースRF電力HFを下部電極12に供給する。ソースRF電力HFは、27MHz～100MHzの範囲内の周波数であってよく、一例においては40MHzである。ソースRF電源50は、整合器52の第1の整合回

路53を介して、下部電極12に結合されている。第1の整合回路53は、ソースRF電源50の出力インピーダンスと負荷側（下部電極12側）の入力インピーダンスを整合させるための回路である。なお、ソースRF電源50は、下部電極12に電氣的に結合されていなくてもよく、第1の整合回路53を介して上部電極であるシャワーヘッド20に結合されていてもよい。また、ソースRF電源50に代えて、ソースRF電力HF以外のパルス電圧を下部電極12に印加するように構成されたパルス電源を用いてもよい。このパルス電源は、後述するバイアスRF電源51に代えて用いられるパルス電源と同様である。

[0037] バイアスRF電源51は、ウェハWにイオンを引き込むためのバイアスRF電力LFを発生して、当該バイアスRF電力LFを下部電極12に供給する。バイアスRF電力LFは、400kHz～13.56MHzの範囲内の周波数であってよく、一例においては400kHzである。バイアスRF電源51は、整合器52の第2の整合回路54を介して、下部電極12に結合されている。第2の整合回路54は、バイアスRF電源51の出力インピーダンスと負荷側（下部電極12側）の入力インピーダンスを整合させるための回路である。なお、バイアスRF電源51に代えて、バイアスRF電力LF以外のパルス電圧を下部電極12に印加するように構成されたパルス電源を用いてもよい。ここで、パルス電圧とは、電圧の大きさが周期的に変化するパルス状の電圧である。パルス電源は、直流電源であってよい。パルス電源は、電源自体がパルス電圧を印加するように構成されてもよく、下流側に電圧をパルス化するデバイスを備えるように構成されてもよい。一例では、パルス電圧は、ウェハWに負の電位が生じるように下部電極12に印加される。パルス電圧は、矩形波であってよく、三角波であってよく、インパルスであってよく、又はその他の波形を有していてもよい。パルス電圧の周波数（パルス周波数）は、100kHz～2MHzの範囲内の周波数であってよい。なお、上記バイアスRF電力LF又はパルス電圧は、静電チャック13の内部に設けられたバイアス電極に供給又は印加されてもよい。

- [0038] エッチング装置 1 は、直流 (DC : Direct Current) 電源 60、切替ユニット 61、第 1 の RF フィルタ 62、及び第 2 の RF フィルタ 63 を更に有している。直流電源 60 は、切替ユニット 61、第 2 の RF フィルタ 63、及び第 1 の RF フィルタ 62 を介して、エッジリング 14 に電氣的に接続されている。なお、本実施形態では、直流電源 60 が接地電位に接続される。
- [0039] 直流電源 60 は、エッジリング 14 に印加される負極性の直流電圧を発生する電源である。また、直流電源 60 は、可変直流電源であり、直流電圧の高低を調整可能である。
- [0040] 切替ユニット 61 は、エッジリング 14 に対する直流電源 60 からの直流電圧の印加を停止可能に構成されている。なお、切替ユニット 61 の回路構成は、当業者が適宜設計することができる。
- [0041] 第 1 の RF フィルタ 62 と第 2 の RF フィルタ 63 はそれぞれ、RF 電力を減衰するフィルタである。第 1 の RF フィルタ 62 は、例えばソース RF 電源 50 からの 40 MHz のソース RF 電力 HF を減衰する。第 2 の RF フィルタ 63 は、例えばバイアス RF 電源 51 からの 400 kHz のバイアス RF 電力 LF を減衰する。
- [0042] 一例においては、第 2 の RF フィルタ 63 は、インピーダンスが可変に構成されている。すなわち、第 2 の RF フィルタ 63 は少なくとも 1 つの可変受動素子を含み、インピーダンスが可変になっている。以下の説明において、第 2 の RF フィルタ 63 のインピーダンスと可変受動素子のインピーダンスは同義である。第 2 の可変受動素子は、例えばコイル (インダクタ) 又はコンデンサ (キャパシタ) のいずれかであってもよい。また、コイル、コンデンサに限らず、ダイオード等の素子など可変インピーダンス素子であればどのようなものであっても同様の機能を達成できる。可変受動素子の数や位置も、当業者が適宜設計することができる。更に、素子自体が可変である必要はなく、例えば、インピーダンスが固定値の素子を複数備え、切替回路を用いて固定値の素子の組み合わせを切り替えることでインピーダンスを可変

してもよい。なお、この第2のRFフィルタ63及び上記第1のRFフィルタ62の回路構成はそれぞれ、当業者が適宜設計することができる。

[0043] エッチング装置1は、エッジリング14の自己バイアス電圧（又は、下部電極12もしくはウェハWの自己バイアス電圧）を測定する測定器（図示せず）を更に有していてもよい。なお、測定器の構成は、当業者が適宜設計することができる。

[0044] 以上のエッチング装置1には、制御部100が設けられている。制御部100は、例えばCPUやメモリ等を備えたコンピュータであり、プログラム格納部（図示せず）を有している。プログラム格納部には、エッチング装置1におけるエッチングを制御するプログラムが格納されている。なお、上記プログラムは、コンピュータに読み取り可能な記憶媒体に記録されていたものであって、当該記憶媒体から制御部100にインストールされたものであってもよい。また、上記記憶媒体は、一時的なものであっても非一時的なものであってもよい。

[0045] <エッチング方法>

次に、以上のように構成されたエッチング装置1を用いて行われるエッチングについて説明する。

[0046] 先ず、プラズマ処理チャンバ10の内部にウェハWを搬入し、静電チャック13上にウェハWを載置する。その後、静電チャック13の第1の電極16aに直流電圧を印加することにより、ウェハWはクーロン力によって静電チャック13に静電吸着され、保持される。また、ウェハWの搬入後、排気装置42によってプラズマ処理チャンバ10の内部を所望の真空度まで減圧する。

[0047] 次に、ガス供給源群30からシャワーヘッド20を介して処理空間Sに処理ガスを供給する。また、ソースRF電源50によりプラズマ生成用のソースRF電力HFを下部電極12に供給し、処理ガスを励起させて、プラズマを生成する。この際、バイアスRF電源51によりイオン引き込み用のバイアスRF電力LFを供給してもよい。そして、生成されたプラズマの作用に

よって、ウェハWにエッチングが施される。

[0048] エッチングを終了する際には、先ず、ソースRF電源50からのソースRF電力HFの供給及びガス供給源群30による処理ガスの供給を停止する。

また、エッチング中にバイアスRF電力LFを供給していた場合には、当該バイアスRF電力LFの供給も停止する。次いで、ウェハWの裏面への伝熱ガスの供給を停止し、静電チャック13によるウェハWの吸着保持を停止する。

[0049] その後、プラズマ処理チャンバ10からウェハWを搬出して、ウェハWに対する一連のエッチングが終了する。

[0050] なお、エッチングにおいては、ソースRF電源50からのソースRF電力HFを使用せず、バイアスRF電源51からのバイアスRF電力LFのみを用いて、プラズマを生成する場合もある。

[0051] <チルト角度制御方法>

次に、上述したエッチングにおいて、チルト角度を制御する方法について説明する。チルト角度は、ウェハWのエッジ領域において、エッチングにより形成される凹部のウェハWの厚み方向に対する傾き（角度）である。チルト角度は、ウェハWのエッジ領域へのイオンの入射方向の縦方向に対する傾き（イオンの入射角度）とほぼ同様の角度となる。なお、以下の説明では、ウェハWの厚み方向（縦方向）に対して径方向内側（中心側）の方向をインナー側といい、ウェハWの厚み方向に対して径方向外側の方向をアウター側という。

[0052] 図3A及び図3Bは、エッジリングの消耗によるシースの形状の変化及びイオンの入射方向の傾きの発生を示す説明図である。図3Aにおいて実線で示されるエッジリング14は、その消耗がない状態のエッジリング14を示している。点線で示されるエッジリング14は、その消耗が生じて厚みが減少したエッジリング14を示している。また、図3Aにおいて実線で示されるシースSHは、エッジリング14が消耗していない状態にあるときの、シースSHの形状を表している。点線で示されるシースSHは、エッジリング

14が消耗した状態にあるときの、シースSHの形状を表している。更に、図3Aにおいて矢印は、エッジリング14が消耗した状態にあるときの、イオンの入射方向を示している。

[0053] 図3Aに示すように一例においては、エッジリング14が消耗していない状態にある場合、シースSHの形状は、ウェハW及びエッジリング14の上方においてフラットに保たれている。したがって、ウェハWの全面に略垂直な方向（縦方向）にイオンが入射する。したがって、チルト角度は0（ゼロ）度となる。

[0054] 一方、エッジリング14が消耗し、その厚みが減少すると、ウェハWのエッジ領域及びエッジリング14の上方において、シースSHの厚みが小さくなり、当該シースSHの形状が下方凸形状に変化する。その結果、ウェハWのエッジ領域に対するイオンの入射方向が縦方向に対して傾斜する。以下の説明では、イオンの入射方向が縦方向に対して径方向内側（中心側）に傾斜した場合に、エッチングにより形成される凹部がインナー側に傾斜する現象を、インナーチルト（Inner Tilt）という。図3Bでは、イオンの入射方向は、インナー側に角度 $\theta 1$ だけ傾斜しており、凹部もインナー側に $\theta 1$ だけ傾斜している。インナーチルトが発生する原因は、上述したエッジリング14の消耗に限定されない。例えば、エッジリング14に発生するバイアス電圧がウェハW側の電圧に比べて低い場合には、初期状態でインナーチルトとなる。また例えば、エッジリング14の初期状態において意図的にインナーチルトとなるように調整し、後述する直流電源60からの直流電圧と第2のRFフィルタ63のインピーダンスの調整の少なくともいずれかを調整することによりチルト角度を補正する場合もある。

[0055] なお、図4A及び図4Bに示すように、ウェハWの中央領域に対し、ウェハWのエッジ領域及びエッジリング14の上方において、シースSHの厚みが大きくなり、当該シースSHの形状が上方凸形状になる場合もあり得る。例えば、エッジリング14に発生するバイアス電圧が高い場合、シースSHの形状が上方凸形状になり得る。図4Aにおいて矢印は、イオンの入射方向

を示している。以下の説明では、イオンの入射方向が縦方向に対して径方向外側に傾斜した場合に、エッチングにより形成される凹部がアウター側に傾斜する現象を、アウターチルト（Outer Tilt）という。図4Bでは、イオンの入射方向は、アウター側に角度 $\theta 2$ だけ傾斜しており、凹部もアウター側に $\theta 2$ だけ傾斜している。

[0056] 本実施形態のエッチング装置1では、チルト角度を制御する。具体的に、チルト角度の制御は、直流電源60からの直流電圧と第2のRFフィルタ63のインピーダンスの少なくともいずれかを調整して、イオンの入射角度を制御することにより行う。

[0057] [直流電圧の調整]

まず、直流電源60からの直流電圧の調整について説明する。直流電源60では、エッジリング14に印加する直流電圧が、自己バイアス電圧 V_{dc} の絶対値と設定値 ΔV の和をその絶対値として有する負極性の電圧、すなわち、 $-(|V_{dc}| + \Delta V)$ に設定される。自己バイアス電圧 V_{dc} は、ウェハWの自己バイアス電圧であり、少なくともいずれかのRF電力が供給されており、且つ、直流電源60からの直流電圧が下部電極12に印加されていないときの下部電極12の自己バイアス電圧である。設定値 ΔV は、制御部100によって与えられる。

[0058] 制御部100は、予め定められた関数又はテーブルを用いて、エッジリング14の消耗量（エッジリング14の厚みの初期値からの減少量）とエッチングのプロセス条件（例えば処理時間）から推定されるエッジリング14の消耗量から、設定値 ΔV を特定する。すなわち、制御部100は、エッジリング14の消耗量と自己バイアス電圧を上記関数に入力するか、エッジリング14の消耗量と自己バイアス電圧を用いて上記テーブルを参照することにより、設定値 ΔV を決定する。

[0059] 制御部100は、設定値 ΔV の決定において、エッジリング14の初期の厚みと、例えばレーザ測定器やカメラなどの測定器を用いて実測されたエッジリング14の厚みとの差を、エッジリング14の消耗量として用いてもよ

い。また、例えば質量計などの測定器によって測定されたエッジリング14の質量の変化から、エッジリング14の消耗量を推定してもよい。或いは、制御部100は、設定値 ΔV の決定のために、予め定められた別の関数又はテーブルを用いて、特定のパラメータから、エッジリング14の消耗量を推定してもよい。この特定のパラメータは、自己バイアス電圧 V_{dc} 、ソースRF電力HF又はバイアスRF電力LFの電圧 V_{pp} 、負荷インピーダンス、エッジリング14又はエッジリング14の周辺の電気的特性等のうちのいずれかであり得る。エッジリング14又はエッジリング14の周辺の電気特性は、エッジリング14又はエッジリング14の周辺の任意の箇所の電圧、電流値、エッジリング14を含む抵抗値等のうちいずれかであり得る。別の関数又はテーブルは、特定のパラメータとエッジリング14の消耗量の関係を定めるように予め定められている。エッジリング14の消耗量を推定するために、実際のエッチングの実行前又はエッチング装置1のメンテナンス時に、消耗量を推定するための測定条件、すなわち、ソースRF電力HF、バイアスRF電力LF、処理空間S内の圧力、及び、処理空間Sに供給される処理ガスの流量等の設定の下で、エッチング装置1が動作される。そして、上記特定のパラメータが取得され、この当該特定のパラメータを上記別の関数に入力することにより、或いは、当該特定のパラメータを用いて上記テーブルを参照することにより、エッジリング14の消耗量が特定される。

[0060] エッチング装置1では、エッチング中、すなわち、ソースRF電力HF及びバイアスRF電力LFのうち少なくともいずれかのRF電力が供給される期間において、直流電源60からエッジリング14に直流電圧が印加される。これにより、エッジリング14及びウェハWのエッジ領域の上方におけるシースの形状が制御されて、ウェハWのエッジ領域へのイオンの入射方向の傾きが低減され、チルト角度が制御される。その結果、ウェハWの全領域にわたって、当該ウェハWの厚み方向に略平行な凹部が形成される。

[0061] より詳細には、エッチング中、測定器（図示せず）によって自己バイアス電圧 V_{dc} が測定される。また、直流電源60からエッジリング14に直流

電圧が印加される。エッジリング14に印加される直流電圧の値は、上述したように $-(|V_{dc}| + \Delta V)$ である。 $|V_{dc}|$ は、直前に測定器によって取得された自己バイアス電圧 V_{dc} の測定値の絶対値であり、 ΔV は制御部100によって決定された設定値である。このようにエッチング中に測定された自己バイアス電圧 V_{dc} からエッジリング14に印加される直流電圧が決定される。そうすると、自己バイアス電圧 V_{dc} に変化が生じて、直流電源60によって発生される直流電圧が補正され、チルト角度が適切に補正される。

[0062] [インピーダンスの調整]

次に、第2のRFフィルタ63のインピーダンスの調整について説明する。

[0063] 制御部100は、上述した直流電源60からの直流電圧の設定と同様に、エッジリング14の消耗量から、第2のRFフィルタ63のインピーダンスを設定する。そして制御部100は、第2のRFフィルタ63のインピーダンスを変更することで、エッジリング14に発生する電圧を変更する。

[0064] エッチング装置1では、エッチング中、制御部100で設定されたインピーダンスに第2のRFフィルタ63を制御する。これにより、エッジリング14及びウェハWのエッジ領域の上方におけるシースの形状が制御されて、ウェハWのエッジ領域へのイオンの入射方向の傾きが低減され、チルト角度が制御される。

[0065] [直流電圧とインピーダンスの調整]

図5は、直流電源60からの直流電圧又は第2のRFフィルタ63のインピーダンスと、チルト角度の補正角度（以下、「チルト補正角度」という。）との関係を示す説明図である。図5の縦軸はチルト補正角度を示し、横軸は直流電圧又はインピーダンスを示している。図5に示すように、直流電源60からの直流電圧の絶対値を大きくすると、チルト補正角度は大きくなる。また、第2のRFフィルタ63のインピーダンスを大きくすることでも、チルト補正角度は大きくなる。なお、図5に示す例では、インピーダンスを

大きくすることにより、チルト補正角度を大きくしているが、第2のRFフィルタ63の構成によっては、インピーダンスを大きくすることにより、チルト補正角度を小さくすることも可能である。インピーダンスとチルト補正角度の関係性は、第2のRFフィルタ63の設計に依存するため、限定されるものではない。また、直流電圧の調整によるチルト角度補正の分解能（図5中の傾き）と、インピーダンスの調整によるチルト角度補正の分解能（図5中の傾き）は、それぞれ直流電源60と第2のRFフィルタ63の性能等に依存する。チルト角度補正の分解能とは、直流電圧又はインピーダンスの1回の調整におけるチルト角度の補正量である。

[0066] そしてチルト角度の制御は、エッジリング14の消耗に応じて、直流電源60からの直流電圧の調整と第2のRFフィルタ63のインピーダンスの調整を任意に組み合わせて行う。例えば、直流電源60からの直流電圧のみを調整してチルト角度を制御してもよいし、第2のRFフィルタ63のインピーダンスのみを調整してチルト角度を制御してもよい。また、直流電源60からの直流電圧と第2のRFフィルタ63のインピーダンスの両方を調整してチルト角度を制御してもよい。

[0067] 具体的には、例えば図3A及び図3Bに示したようにエッジリング14が消耗すると、イオンの入射角度が縦方向に対して内側に傾き、インナーチルトになる。そこで、図5に示したように直流電源60からの直流電圧の絶対値と第2のRFフィルタ63のインピーダンスの少なくともいずれかを大きくすると、チルト補正角度が大きくなる。そうすると、インナー側に傾斜したチルト角度をアウター側に変化させて、当該チルト角度を0（ゼロ）度に補正することができる。

[0068] なお、本実施形態では、エッジリング14の消耗量に応じて、直流電源60からの直流電圧と第2のRFフィルタ63のインピーダンスの少なくともいずれかの調整を行ったが、直流電圧又はインピーダンスの調整タイミングはこれに限定されない。例えばウェハWの処理時間に応じて、直流電圧又はインピーダンスの調整を行ってもよい。或いは、例えばウェハWの処理時間

と、例えば高周波電力等の予め定められたパラメータとを組み合わせ、直流電圧又はインピーダンスの調整タイミングを判断してもよい。

[0069] <バイアスRF電力LFの電圧Vpp制御方法>

次に、上述したエッチングにおいて、バイアスRF電力LFの電圧Vpp（以下、「LF Vpp」という。）を制御する方法について説明する。

[0070] 図6は、直流電源60からの直流電圧又は第2のRFフィルタ63のインピーダンスと、LF Vppとの関係を示す説明図である。図6の縦軸はLF Vppを示し、横軸は直流電圧又はインピーダンスを示している。本発明者らが鋭意検討した結果、図6に示すように、直流電源60からの直流電圧の絶対値を大きくするとLF Vppは大きくなるが、第2のRFフィルタ63のインピーダンスを大きくするとLF Vppは小さくなることを知見した。すなわち、第2のRFフィルタ63のインピーダンスを調整すると、チルト角度を制御できるとともに、LF Vppを制御することができる。かかる知見に基づいて、LF Vppを制御する。

[0071] エッチング装置1におけるエッチング中、例えば図7(a)に示すようにエッジリング14の消耗に伴い、エッジリング14の厚みが小さくなると、直流電源60からの直流電圧の絶対値を大きくする。直流電圧は、チルト角度の制御能力に基づいて決定される。そしてこのように直流電圧の絶対値を大きくすると、LF Vppが大きくなる。

[0072] そこで、図7(b)に示すように直流電圧を大きくするとともに、第2のRFフィルタ63のインピーダンスも大きくする。このようにインピーダンスを大きくすると、図6に示した関係から、LF Vppが小さくなる。すなわち、直流電圧の調整によるLF Vppの増加分が、インピーダンスの調整によるLF Vppの減少分でキャンセルされる。そうすると、LF Vppを一定又は許容範囲に制御することができる。なお、許容範囲は、エッチングプロセスに要求される仕様に応じて任意に設定される。

[0073] 本実施形態によれば、直流電源60からの直流電圧と第2のRFフィルタ63のインピーダンスを調整してチルト角度を制御するとともに、インピー

ダンスを調整することで LF V_{pp} も適切に調整することができる。すなわち、チルト角度制御中の LF V_{pp} 制御を実現できる。しかも、装置構成を変更することなく、このような制御が可能となる。

[0074] また、上述したように従来、 LF V_{pp} の調整は RF 電力を調整することで行われていたところ、かかる RF 電力の調整では、ウェハへの入熱の影響や、プロセス性能への影響が生じ得る。これに対して、本実施形態によれば、 RF 電力を一定にして LF V_{pp} を調整できるので、従来のウェハへの入熱やプロセス性能の影響を抑制することができる。

[0075] なお、本実施形態では、図6に示したように第2の RF フィルタ63のインピーダンスを大きくすると LF V_{pp} は小さくなるが、第2の RF フィルタ63の回路設計や LF V_{pp} の測定箇所によってはインピーダンスを小さくすると LF V_{pp} が小さくなる場合がある。このため、 LF V_{pp} を小さくするためには、必ずしも第2の RF フィルタ63のインピーダンスを大きくする必要はなく、第2の RF フィルタ63の回路設計や LF V_{pp} の測定箇所に応じてインピーダンスを調整すればよい。

[0076] <直流電圧とインピーダンスの調整方法>

以上のように本実施形態では、直流電源60からの直流電圧と第2の RF フィルタ63のインピーダンスを調整して、チルト角度と LF V_{pp} を制御する。この際、直流電圧の調整とインピーダンスの調整は任意に組み合わせることができる。以下、一例を説明する。

[0077] 図8は、直流電源60からの直流電圧と第2の RF フィルタ63のインピーダンスの調整方法の一例を示す説明図である。図8において、直流電圧の絶対値 $V1$ 、 $V2$ 、 $V3$ 、 $V4$ はこの順で大きく、インピーダンス $Z1$ 、 $Z2$ 、 $Z3$ 、 $Z4$ はこの順で小さい。また、「Edge ring New」はエッジリング14が新品で消耗する前である状態を示し、「Edge ring Life Limit」はエッジリング14が消耗して寿命に到達し交換が必要な状態を示す。

[0078] 図8に示すようにエッジリング14の消耗に伴い、直流電圧の絶対値を V

1 から V 3 に変化させるとともに、インピーダンスを Z 3 から Z 1 に変化させる。本実施形態は、これら直流電圧とインピーダンスの変更調整を同時に行う。

[0079] エッジリング 1 4 の消耗に伴いイオンの入射角度がインナーチルトになるのに対し、図 5 に示したように直流電圧の絶対値を大きくすることで、チルト補正角度が大きくなる。そうすると、インナー側に傾斜したチルト角度をアウター側に変化させて、当該チルト角度を 0（ゼロ）度に補正することができる。なおこの際、インピーダンスを小さくするのでチルト補正角度は小さくなるが、このチルト補正角度の減少分を考慮したうえで、チルト角度が 0（ゼロ）度になるように直流電圧の絶対値を変動させる。

[0080] また、図 9 に示すように直流電圧を大きくすることで $L F \quad V_{pp}$ が大きくなるのに対し、インピーダンスを大きくすることで $L F \quad V_{pp}$ を小さくして、 $L F \quad V_{pp}$ を一定又は許容範囲に制御することができる。なお、図 9 の縦軸は $L F \quad V_{pp}$ を示し、横軸は直流電圧又はインピーダンスを示している。

[0081] 以上のように直流電圧の値とインピーダンスの値はそれぞれ、チルト角度が 0（ゼロ）度になり、且つ、 $L F \quad V_{pp}$ が一定又は許容範囲に収まるように設定される。そして、チルト角度と $L F \quad V_{pp}$ を適切に制御することができる。

[0082] なお、本実施形態では直流電圧とインピーダンスを同時に変更して調整したが、これらを個別に調整してもよい。直流電圧の調整タイミングとインピーダンスの調整タイミングは任意である。例えば、直流電圧の調整を行った後インピーダンスの調整を行ってもよいし、インピーダンスの調整を行った後直流電圧の調整を行ってもよい。いずれにしても、チルト角度と $L F \quad V_{pp}$ の両方を制御する。

[0083] また、本実施形態では直流電圧とインピーダンスを調整したが、直流電源 6 0 からの直流電圧を未出力の状態にし、インピーダンスのみを調整して、チルト角度と $L F \quad V_{pp}$ を制御してもよい。

[0084] また、本実施形態ではインピーダンスを Z_3 から Z_1 に一方向に変化させたが、図10に示すようにインピーダンスを増減させてもよい。なお、図10の縦軸は直流電圧又はインピーダンスを示し、横軸は装置動作時間（プロセス時間）を示している。また図10中、1つ目の矢印は1枚目のウェハWをエッチングする際の直流電圧とインピーダンスの挙動を示し、2つ目の矢印は2枚目のウェハWをエッチングする際の直流電圧とインピーダンスの挙動を示している。

[0085] ここで、従来のようにチルト角度を制御することを目的とする場合、チルト補正角度を大きくするようにインピーダンスを一方向に調整していた。これに対して、本実施形態のように $LF \quad V_{pp}$ を一定又は許容範囲に制御する場合、図10において両方向の矢印で示すようにインピーダンスを大きくしたり小さくしたりしてもよい。換言すれば、インピーダンスは、エッジリング14の消耗量によらずに調整することができ、チルト角度の制御に影響のない範囲で任意に調整することができる。 $LF \quad V_{pp}$ は、直流電圧の変化に応じて大きくなるが、直流電圧以外の要因によっても変動し得る。この点、 $LF \quad V_{pp}$ の変動に追従させるようにインピーダンスを増減させれば、 $LF \quad V_{pp}$ を常に一定又は許容範囲に制御することができる。

[0086] また、本実施形態においてインピーダンスの開始点は Z_3 であるが、この開始時点も任意に設定することができる。上述したように本実施形態では、インピーダンスを増減させることができ、かかる場合開始点も自由に選択することができる。

[0087] また、本実施形態では直流電圧とインピーダンスの調整は、一のウェハWに対するエッチングと次のウェハWに対するエッチングの間で行われるが、直流電圧とインピーダンスの調整タイミングはこれに限定されない。例えば一のウェハWに対するエッチング時間が長く、エッチング中にエッジリング14が消耗する場合、当該エッチング中に直流電圧とインピーダンスを再調整してもよい。

[0088] <他の実施形態>

ここで上述したように、バイアスRF電源51から供給されるバイアスRF電力LFの周波数は400kHz～13.56MHzであるが、5MHz以下がより好ましい。エッチングを行う際、ウェハWに対して高アスペクト比のエッチングを行う場合、エッチング後のパターンの垂直形状を実現するためには、高いイオンエネルギーが必要となる。そこで、本発明者らが鋭意検討した結果、バイアスRF電力LFの周波数を5MHz以下にすることで、高周波電界の変化に対するイオンの追従性が上がり、イオンエネルギーの制御性が向上することが分かった。

[0089] 一方、バイアスRF電力LFの周波数を5MHz以下の低周波とすると、第2のRFフィルタ63のインピーダンスを可変とした効果が低下する場合がある。すなわち、第2のRFフィルタ63のインピーダンスの調整によるチルト角度の制御性が低下する場合がある。例えば図2において、エッジリング14と第2のRFフィルタ63との電氣的な接続が非接触又は容量結合である場合、第2のRFフィルタ63のインピーダンスを調整しても、チルト角度を適切に制御できない。そこで本実施形態では、エッジリング14と第2のRFフィルタ63を電氣的に直接接続する。

[0090] エッジリング14と第2のRFフィルタ63は、接続部を介して電氣的に直接接続される。エッジリング14と接続部は接触し、当該接続部を直流電源60からの直流電流が導通する。以下、接続部の構造（以下、「接触構造」という場合がある。）の一例について説明する。

[0091] 図11に示すように導体としての接続部200は、導電性構造201と導電性弾性部材202を有している。導電性構造201は、導電性弾性部材202を介してエッジリング14と第2のRFフィルタ63を接続する。具体的に導電性構造201は、その一端が第2のRFフィルタ63に接続され、他端が下部電極12の上面にて露出し、導電性弾性部材202に接触する。

[0092] 導電性弾性部材202は、例えば静電チャック13の側方において下部電極12とエッジリング14の間に形成された空間に設けられる。導電性弾性部材202は、導電性構造201とエッジリング14の下面のそれぞれに接

触する。また導電性弾性部材 202 は、例えば金属等の導体からなる。導電性弾性部材 202 の構成は特に限定されないが、例えば特開 2022-7865 号公報の図 11A~図 11F に示す構成が例示される。また、導電性弾性部材 202 の平面視における配置も特に限定されないが、例えば特開 2022-7865 号公報の図 12A~図 12C に示す配置が例示される。

[0093] かかる場合、図 11 に示したように接続部 200 を介してエッジリング 14 と第 2 の RF フィルタ 63 を電氣的に直接接続することができる。したがって、バイアス RF 電力 LF の周波数を 5 MHz 以下の低周波とすることができ、イオンエネルギーの制御性を向上させることができる。また、上述したように、第 2 の RF フィルタ 63 のインピーダンスを調整することで、チルト角度の調整範囲を大きくして、チルト角度を所望の値に制御することができる。

[0094] なお、エッジリング 14 に対する接触構造は、図 11 に示した例に限定されない。例えば特開 2022-7865 号公報の図 13A~図 13G に示す構成であってもよい。また、接続部 200 と、第 1 の RF フィルタ 62 及び第 2 の RF フィルタ 63 との関係も特に限定されるものではないが、例えば特開 2022-7865 号公報の図 14A~図 14C に示す構成が例示される。

[0095] <他の実施形態>

以上の実施形態では、直流電源 60 は、切替ユニット 61、第 1 の RF フィルタ 62、及び第 2 の RF フィルタ 63 を介して、エッジリング 14 に接続されていたが、エッジリング 14 に直流電圧を印加する電源系はこれに限定されない。例えば、直流電源 60 は、切替ユニット 61、第 2 の RF フィルタ 63、第 1 の RF フィルタ 62、及び下部電極 12 を介して、エッジリング 14 に電氣的に接続されていてもよい。かかる場合、下部電極 12 とエッジリング 14 は直接電氣的に結合し、エッジリング 14 の自己バイアス電圧は下部電極 12 の自己バイアス電圧と同じになる。

[0096] ここで、下部電極 12 とエッジリング 14 が直接電氣的に結合している場

合、例えばハード構造で決定されるエッジリング14下の容量等により、エッジリング14上のシース厚みを調整できず、直流電圧を印加していないにも関わらずアウターチルトの状態が起こり得る。この点、本開示では、直流電源60からの直流電圧と第2のRFフィルタ63のインピーダンスを調整して、チルト角度を制御することができるので、当該チルト角度をインナー側に変化させることで、チルト角度を0（ゼロ）度に調整することができる。

[0097] <他の実施形態>

以上の実施形態では、RF電源としてソースRF電力HFとバイアスRF電源51を用いたが、RF電源の数はこれに限定されない。例えばRF電源は1つであって、単周波のRF電力を供給してもよく、或いはRF電源は3つであって、3周波のRF電力を供給してもよい。

[0098] <他の実施形態>

以上の実施形態では、第2のRFフィルタ63のインピーダンスを可変にしたが、第1のRFフィルタ62のインピーダンスを可変にしてもよいし、RFフィルタ62、63の両方のインピーダンスを可変にしてもよい。かかる場合、第1のRFフィルタ62はバイアスRF電力LFを減衰してもよく、第1のRFフィルタ62のインピーダンスを調整することでLF V_{pp} を制御することができる。或いは、LF V_{pp} と共にソースRF電力HFの電圧 V_{pp} （以下、「HF V_{pp} 」という。）も制御する必要がある場合、第1のRFフィルタ62のインピーダンスを調整することでHF V_{pp} を制御し、第2のRFフィルタ63のインピーダンスを調整することでLF V_{pp} を制御することができる。

[0099] また、以上の実施形態では、直流電源60に対して2つのRFフィルタ62、63を設けたが、RFフィルタの数はこれに限定されない。例えば、2つのRFフィルタ62、63を一体化して1つのRFフィルタを設けてもよい。或いは、3つ以上のRFフィルタを設けてもよい。

[0100] また、以上の実施形態では、第2のRFフィルタ63（第1のRFフィル

タ62)は少なくとも1つの可変受動素子を含むことでインピーダンスを可変としたが、インピーダンスを可変とする構成はこれに限定されない。例えば、インピーダンス可変又は固定のRFフィルタ62、63に、当該RFフィルタ62、63のインピーダンスを可能なデバイスと接続してもよい。すなわち、インピーダンスが可変のRFフィルタ62、63は、RFフィルタと、このRFフィルタと接続されてRFフィルタのインピーダンスを変可能なデバイスとによって構成されてもよい。また、RFフィルタ62、63は少なくとも1つの可変受動素子を含むことでインピーダンスを可変としたが、RFフィルタ62、63にはインピーダンスが可変でないものを用いて、RFフィルタ62、63の外部に可変受動素子を設けてもよい。

[0101] <他の実施形態>

以上の実施形態において、エッチング装置1は、LF Vppを制御するためのセンサを有していてもよい。図12は、エッチング装置1におけるLF Vpp制御用のセンサを示す説明図である。

[0102] 図12に示すようにエッチング装置1は、チャンバ内センサ300、整合器センサ301、直流電源センサ302、及びフィルタ経路センサ303を有している。各センサ300、301、302、303には、測定対象に応じたセンサが用いられ、例えば電圧センサ、接触式センサ、非接触式センサ、光学センサ等が用いられる。

[0103] チャンバ内センサ300は、一例として、プラズマ処理チャンバ10内のLF Vppを測定してもよい。また、チャンバ内センサ300は、一例として、プラズマ処理チャンバ10内におけるLF Vppに関する情報、例えば電圧、電流（磁界）、電力、装置負荷情報（インピーダンスや進行電力、反射電力も含む）等を測定してもよい。LF Vppに関する情報からは、LF Vppを算出し推定できる。チャンバ内センサ300は、プラズマ処理チャンバ10内の任意の位置に設けられ、例えば整合器52とプラズマ処理チャンバ10を接続する経路内や、RF電力を供給するためのパイプ内、静電チャック13内等に設けられてもよい。また、チャンバ内センサ30

0は、プラズマ処理チャンバ10の外部に設けられていてもよい。そして、チャンバ内センサ300で測定された情報は、制御部100に出力される。

[0104] 整合器センサ301は、一例として、整合器52内のLF Vppを測定してもよい。また、整合器センサ301は、一例として、整合器52内におけるLF Vppに関する情報、例えば電圧、装置負荷情報（インピーダンスや進行電力、反射電力も含む）を測定してもよい。LF Vppに関する情報からは、LF Vppを算出し推定できる。整合器センサ301は、整合器52内の任意の位置に設けられ、例えば第1の整合回路53内や第2の整合回路54内、整合回路53、54の出口等に設けられてもよい。また、整合器センサ301は、整合器52の外部に設けられていてもよい。そして、整合器センサ301で測定された情報は、制御部100に出力される。

[0105] 直流電源センサ302は、一例として、直流電源60におけるLF Vppに関する情報、例えば直流電源60からの直流電圧（出力電圧）、直流電流（出力電流）、高周波ノイズ電圧、高周波ノイズ電流等を測定してもよい。LF Vppに関する情報からは、LF Vppを算出し推定できる。直流電源センサ302は、直流電源60の内部や外部に設けられる。そして、直流電源センサ302で測定された情報は、制御部100に出力される。

[0106] フィルタ経路センサ303は、一例として、フィルタ経路内のLF Vppに関する情報、例えば電圧、電流（磁界）等を測定してもよい。LF Vppに関する情報からは、LF Vppを算出し推定できる。フィルタ経路センサ303は、フィルタ経路内の任意の位置に設けられ、例えばRFフィルタ62、63とエッジリング14との間の経路内に設けられてもよい。また、フィルタ経路センサ303は、RFフィルタ62、63内に設けられてもよい。そして、フィルタ経路センサ303で測定された情報は、制御部100に出力される。

[0107] 制御部100は、チャンバ内センサ300、整合器センサ301、直流電源センサ302、及びフィルタ経路センサ303から出力される情報を集約して処理し、更に第2のRFフィルタ63に対する指示を出力する。具体的

に制御部100は、入力情報が $L F \quad V_{pp}$ に関する情報の場合、当該情報から $L F \quad V_{pp}$ を算出する。そして、測定された $L F \quad V_{pp}$ 又は算出された $L F \quad V_{pp}$ に基づいて、第2のRFフィルタ63（可変受動素子）のインピーダンスを算出する。算出されたインピーダンスは第2のRFフィルタ63に出力され、当該第2のRFフィルタ63が制御される。

[0108] なお、本実施形態において制御部100はエッチング装置1に設けられているが、その配置は任意である。例えば制御部100は、集約装置としてエッチング装置1とは別に設けられてもよい。また制御部100は、第2のRFフィルタ63や第2のRFフィルタ63の可変受動素子と一体に設けられていてもよいし、複数に分かれて別体に設けられてもよい。

[0109] 本実施形態によれば、チャンバ内センサ300、整合器センサ301、直流電源センサ302、及びフィルタ経路センサ303から出力される情報に基づいて、第2のRFフィルタ63のインピーダンスを自動で調整することができる。

[0110] なお、本実施形態では、チャンバ内センサ300、整合器センサ301、直流電源センサ302、及びフィルタ経路センサ303を設けたが、センサの種類や数はこれらに限定されない。 $L F \quad V_{pp}$ 又は $L F \quad V_{pp}$ に関する情報を測定するセンサであれば、任意に用いることができる。

[0111] 或いは、ソースRF電力HFに関する情報（例えば負荷情報や $H F \quad V_{pp}$ ）を推定、もしくは測定するために同様のセンサを各部（例えばセンサ300～303の位置）に設置して制御部100に出力し、RFフィルタ62、63のインピーダンスの制御に用いてもよい。なお、各種センサの位置は測定対象に応じて任意の場所に設置される。加えて上記ソースRF電力HFに関する情報を $L F \quad V_{pp}$ の制御に対して用いてもよい。

[0112] また、本実施形態において、チャンバ内センサ300、整合器センサ301、直流電源センサ302、及びフィルタ経路センサ303は必須ではなく、いずれかを省略してもよいし、すべてを省略してもよい。これらセンサがすべて省略された場合は、オペレータがマニュアルで第2のRFフィルタ6

3のインピーダンスを設定してもよい。或いは、オペレータが最初のインピーダンスを設定した後、制御部100がRF電力を供給する時間に応じてインピーダンスを設定するようにしてもよい。

[0113] <他の実施形態>

[0114] 以上の実施形態のエッチング装置1は、直流電源60、切替ユニット61、第1のRFフィルタ62、及び第2のRFフィルタ63に代えて、図13に示すように第1の可変受動素子64と第2の可変受動素子65を有していてもよい。すなわち、エッチング装置1は、直流電源60を備えず、エッジリング14に負極性の直流電圧を印加しない。第1の可変受動素子64と第2の可変受動素子65は、エッジリング14側からこの順で配置されている。第2の可変受動素子65は、接地電位に接続されている。すなわち、第2の可変受動素子65は、ソースRF電源50とバイアスRF電源51のそれぞれに接続されていない。

[0115] 一例においては、第1の可変受動素子64と第2の可変受動素子65の少なくともいずれかは、インピーダンスが可変に構成されている。第1の可変受動素子64と第2の可変受動素子65は、例えばコイル（インダクタ）又はコンデンサ（キャパシタ）のいずれかであってもよい。また、コイル、コンデンサに限らず、ダイオード等の素子など可変インピーダンス素子であればどのようなものであっても同様の機能を達成できる。第1の可変受動素子64と第2の可変受動素子65の数や位置も、当業者が適宜設計することができる。さらに、素子自体が可変である必要はなく、例えば、インピーダンスが固定値の素子を複数備え、切替回路を用いて固定値の素子の組み合わせを切り替えることでインピーダンスを可変してもよい。なお、これら第1の可変受動素子64と第2の可変受動素子65の回路構成はそれぞれ、当業者が適宜設計することができる。

[0116] 第1の可変受動素子64のインピーダンス及び第2の可変受動素子65のインピーダンスと、 LF/V_{pp} との関係は、図6に示した第2のRFフィルタ63のインピーダンスと LF/V_{pp} との関係と同様である。すなわち

、可変受動素子 64、65 のインピーダンスを大きくすると $L F \quad V_{pp}$ は小さくなる。そして、第 1 の可変受動素子 64 と第 2 の可変受動素子 65 の少なくともいずれかのインピーダンスを調整して、 $L F \quad V_{pp}$ を制御することができる。なお、可変受動素子 64、65 の回路設計や $L F \quad V_{pp}$ の測定箇所によっては可変受動素子 64、65 のインピーダンスを小さくすると $L F \quad V_{pp}$ が小さくなる場合がある。可変受動素子 64、65 の回路設計や $L F \quad V_{pp}$ の測定箇所に応じてインピーダンスを調整すればよい。

[0117] ここで、 $L F \quad V_{pp}$ は上述した直流電圧の変動以外の要因でも変動し得る。例えば、プラズマ処理チャンバ 10 の上面に電磁石を設け、処理空間 10s に磁界を形成する場合、当該磁界によって $L F \quad V_{pp}$ は変動し得る。したがって、このように副次的に $L F \quad V_{pp}$ が変動した場合に、本実施形態のように可変受動素子 64、65 の少なくともいずれかのインピーダンスを調整することで、 $L F \quad V_{pp}$ を一定又は許容範囲に制御することができる。

[0118] また例えば、任意の $L F \quad V_{pp}$ の制御目標値があり、RF 電力などプロセスに関連する調整機能を変動させることができない場合がある。例えば RF 電力を調整すると、ウェハへの入熱の影響やプロセス性能への影響が生じ得るため、RF 電力は変動させることが困難である。かかる場合、本実施形態のように可変受動素子 64、65 の少なくともいずれかのインピーダンスを調整することで、 $L F \quad V_{pp}$ を制御目標値に制御することができる。

[0119] また、可変受動素子 64、65 の少なくともいずれかのインピーダンスを調整することで、 $L F \quad V_{pp}$ を制御できるので、可変受動素子 64、65 の接続先であるエッジリング 14 の電圧を調整することができる。その結果、電圧によりエッジリング 14 の消耗量を制御することが可能となる。

[0120] なお、本実施形態では、可変受動素子 64、65 の少なくともいずれかのインピーダンスを調整して、 $L F \quad V_{pp}$ を制御したが、チルト角度を制御することもできる。可変受動素子 64、65 のインピーダンスの調整によるチルト角度の制御方法は、上述した第 2 の RF フィルタ 63 のインピーダン

スの調整によるチルト角度の制御方法と同様である。

- [0121] また、本実施形態では、可変受動素子 64、65 はインピーダンスを調整することで $L F \quad V_{pp}$ を制御したが、 $H F \quad V_{pp}$ を制御するように構成されていてもよい。ここで、種々の要因で $H F \quad V_{pp}$ が変動し得る。例えば、バイアス RF 電源 51 に代えて、バイアス RF 電力 $L F$ 以外のパルス電圧を下部電極 12 に印加するように構成されたパルス電源を用いた場合、この $H F \quad V_{pp}$ が変動しやすい。かかる場合に、可変受動素子 64、65 の少なくともいずれかのインピーダンスを調整することで $H F \quad V_{pp}$ を一定又は許容範囲に制御することができる。
- [0122] また、本実施形態において、エッジリング 14 と可変受動素子 64、65 は電氣的に接続されていればよい。例えばエッジリング 14 と可変受動素子 64、65 は、非接触又は容量結合で接続されていてもよい。或いは、例えば図 14 に示すようにエッジリング 14 と可変受動素子 64、65 は、接続部 200 によって電氣的に直接接続されていてもよい。この接続部 200 の構成は図 11 に示した接続部 200 の構成と同様である。なお、エッジリング 14 と可変受動素子 64、65 を電氣的に直接接続する場合、バイアス RF 電力 $L F$ の周波数が小さくても、 $L F \quad V_{pp}$ の制御性を維持するという効果を享受できる。
- [0123] また、本実施形態は、可変受動素子 64、65 はエッジリング 14 に電氣的に接続されていたが、可変受動素子 64、65 の接続先はこれに限定されない。例えば可変受動素子 64、65 は、下部電極 12、下部電極 12 を構成している導電性部品、RF 電力の伝送路、整合器 52 内の回路、ソース RF 電源 50 又はバイアス RF 電源 51 に代えて用いられるパルス電源等に電氣的に接続されていてもよい。
- [0124] また、本実施形態では、2つの可変受動素子 64、65 を設けたが、可変受動素子の数はこれに限定されない。例えば、可変受動素子 64、65 のいずれか一方のみが設けられていてもよい。第 2 の可変受動素子 65 が省略される場合には、第 1 の可変受動素子 64 が接地電位に接続される。また、第

1の可変受動素子64が省略される場合には、第2の可変受動素子65が接地電位に接続される。この場合、第2の可変受動素子65のインピーダンスが可変に構成される。但し、第1の可変受動素子64のインピーダンスが固定であった際に備えていた機能や回路は、第2の可変受動素子65内に統合されていてもよい。

[0125] <他の実施形態>

以上の実施形態では、第2のRFフィルタ63のインピーダンスを調整して $LF \quad V_{pp}$ を制御し、また可変受動素子64、65の少なくともいずれかのインピーダンスを調整して $LF \quad V_{pp}$ 又は $HF \quad V_{pp}$ を制御したが、制御対象は V_{pp} に限定されない。例えば、制御対象として、電力や電流を制御してもよい。

[0126] <他の実施形態>

以上の実施形態のエッチング装置1は容量結合型のエッチング装置であったが、本開示が適用されるエッチング装置はこれに限定されない。例えばエッチング装置は、誘導結合型のエッチング装置であってもよい。

[0127] 今回開示された実施形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。上記の実施形態は、添付の請求の範囲及びその主旨を逸脱することなく、様々な形態で省略、置換、変更されてもよい。例えば、上記実施形態の構成要件は任意に組み合わせることができる。当該任意の組み合わせからは、組み合わせにかかるそれぞれの構成要件についての作用及び効果が当然に得られるとともに、本明細書の記載から当業者には明らかな他の作用及び他の効果が得られる。

[0128] また、本明細書に記載された効果は、あくまで説明的または例示的なものであって限定的ではない。つまり、本開示に係る技術は、上記の効果とともに、又は、上記の効果に代えて、本明細書の記載から当業者には明らかな他の効果を奏しうる。

[0129] なお、以下のような構成例も本開示の技術的範囲に属する。

(1)

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る基板支持体であり、前記基板支持体は、下部電極と、静電チャックと、前記静電チャック上に載置された基板を囲むように配置されるエッジリングとを含む、基板支持体と、
前記基板支持体の上方に配置される上部電極と、
前記プラズマ処理チャンバ内のガスからプラズマを生成するためにソース R F 電力を前記上部電極又は前記下部電極に供給するように構成されるソース R F 電源と、
バイアス電力を前記下部電極に供給するように構成されるバイアス電源と、
前記エッジリングに負極性の直流電圧を印加するように構成される直流電源と、
前記エッジリングと前記直流電源との間に電氣的に接続され、少なくとも 1 つの可変受動素子を含む R F フィルタと、
前記直流電源及び前記可変受動素子を制御して、前記静電チャック上に載置された基板のエッジ領域に対する前記プラズマ中のイオンの入射角度を制御するとともに、前記バイアス電力の電圧を許容範囲に制御するように構成される制御部と、
を備える、プラズマ処理装置。

(2)

前記エッジリングと接触する少なくとも 1 つの導体を備え、
前記直流電源は、前記少なくとも 1 つの導体を介して前記エッジリングに負極性の直流電圧を印加するように構成され、
前記 R F フィルタは、前記少なくとも 1 つの導体と前記直流電源との間に電氣的に接続される、前記 (1) に記載のプラズマ処理装置。

(3)

前記制御部は、前記直流電源の直流電圧と前記可変受動素子のインピーダンスを同時に調整する、前記 (1) 又は (2) に記載のプラズマ処理装置。

(4)

前記制御部は、前記直流電源の直流電圧と前記可変受動素子のインピーダンスを個別に調整する、前記（１）又は（２）に記載のプラズマ処理装置。

（５）

前記制御部は、前記直流電源の直流電圧を調整して、前記イオンの入射角度を制御する、前記（１）～（４）のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

（６）

前記制御部は、前記可変受動素子のインピーダンスの増減を調整して、前記バイアス電力の電圧を許容範囲に制御する、前記（１）～（５）のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

（７）

前記バイアス電力の電圧又は前記バイアス電力の電圧に関連する情報を測定するセンサを備え、

前記制御部は、前記センサの測定結果に基づいて前記可変受動素子を制御する、前記（１）～（６）のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

（８）

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る基板支持体であり、前記基板支持体は、静電チャックと、前記静電チャック上に載置された基板を囲むように配置されるエッジリングとを含む、基板支持体と、

前記プラズマ処理チャンバ内のガスからプラズマを生成するためにＲＦ電力を生成するように構成されるＲＦ電源と、

少なくとも１つの可変受動素子と、

前記可変受動素子を制御して、前記ＲＦ電力の電圧を制御するように構成される制御部と、

を備える、プラズマ処理装置。

（９）

前記少なくとも１つの可変受動素子は、前記エッジリングに電氣的に接続される、前記（８）に記載のプラズマ処理装置。

(10)

前記エッジリングと接触する少なくとも1つの導体を備え、
前記少なくとも1つの可変受動素子は、前記少なくとも1つの導体を介して
前記エッジリングに電氣的に接続される、前記(9)に記載のプラズマ処理
装置。

(11)

プラズマ処理装置を用いたエッチング方法であって、
前記プラズマ処理装置は、
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る基板支持体であり、前記基板支持
体は、静電チャックと、前記静電チャック上に載置された基板を囲むように
配置されるエッジリングとを含む、基板支持体と、
前記プラズマ処理チャンバ内のガスからプラズマを生成するためにRF電力
を生成するように構成されるRF電源と、
少なくとも1つの可変受動素子と、
を備え、
前記エッチング方法は、
(a) 基板を前記静電チャック上に載置する工程と、
(b) 前記RF電力によって前記プラズマ処理チャンバ内のガスからプラズ
マを生成する工程と、
(c) 生成されたプラズマで前記基板をエッチングする工程と、
(d) 前記可変受動素子を制御して、前記RF電力の電圧を制御する工程と
、
を含む、エッチング方法。

符号の説明

[0130]	1	エッチング装置
	10	プラズマ処理チャンバ
	11	ステージ

1 2	下部電極
1 3	静電チャック
1 4	エッジリング
2 1	電極板
5 0	ソース R F 電源
5 1	バイアス R F 電源
6 0	直流電源
6 2	第 1 の R F フィルタ
6 3	第 2 の R F フィルタ
1 0 0	制御部
W	ウェハ

請求の範囲

- [請求項1] 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る基板支持体であり、前記基板支持体は、下部電極と、静電チャックと、前記静電チャック上に載置された基板を囲むように配置されるエッジリングとを含む、基板支持体と、
前記基板支持体の上方に配置される上部電極と、
前記プラズマ処理チャンバ内のガスからプラズマを生成するためにソースRF電力を前記上部電極又は前記下部電極に供給するように構成されるソースRF電源と、
バイアス電力を前記下部電極に供給するように構成されるバイアス電源と、
前記エッジリングに負極性の直流電圧を印加するように構成される直流電源と、
前記エッジリングと前記直流電源との間に電氣的に接続され、少なくとも1つの可変受動素子を含むRFフィルタと、
前記直流電源及び前記可変受動素子を制御して、前記静電チャック上に載置された基板のエッジ領域に対する前記プラズマ中のイオンの入射角度を制御するとともに、前記バイアス電力の電圧を許容範囲に制御するように構成される制御部と、
を備える、プラズマ処理装置。
- [請求項2] 前記エッジリングと接触する少なくとも1つの導体を備え、
前記直流電源は、前記少なくとも1つの導体を介して前記エッジリングに負極性の直流電圧を印加するように構成され、
前記RFフィルタは、前記少なくとも1つの導体と前記直流電源との間に電氣的に接続される、請求項1に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項3] 前記制御部は、前記直流電源の直流電圧と前記可変受動素子のインピーダンスを同時に調整する、請求項1又は2に記載のプラズマ処理装

- 置。
- [請求項4] 前記制御部は、前記直流電源の直流電圧と前記可変受動素子のインピーダンスを個別に調整する、請求項1又は2に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項5] 前記制御部は、前記直流電源の直流電圧を調整して、前記イオンの入射角度を制御する、請求項1又は2に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項6] 前記制御部は、前記可変受動素子のインピーダンスの増減を調整して、前記バイアス電力の電圧を許容範囲に制御する、請求項1又は2に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項7] 前記バイアス電力の電圧又は前記バイアス電力の電圧に関連する情報を測定するセンサを備え、
前記制御部は、前記センサの測定結果に基づいて前記可変受動素子を制御する、請求項1又は2に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項8] 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る基板支持体であり、前記基板支持体は、静電チャックと、前記静電チャック上に載置された基板を囲むように配置されるエッジリングとを含む、基板支持体と、
前記プラズマ処理チャンバ内のガスからプラズマを生成するためにRF電力を生成するように構成されるRF電源と、
少なくとも1つの可変受動素子と、
前記可変受動素子を制御して、前記RF電力の電圧を制御するように構成される制御部と、
を備える、プラズマ処理装置。
- [請求項9] 前記少なくとも1つの可変受動素子は、前記エッジリングに電氣的に接続される、請求項8に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項10] 前記エッジリングと接触する少なくとも1つの導体を備え、
前記少なくとも1つの可変受動素子は、前記少なくとも1つの導体を介して前記エッジリングに電氣的に接続される、請求項9に記載のプ

ラズマ処理装置。

- [請求項11] プラズマ処理装置を用いたエッチング方法であって、
前記プラズマ処理装置は、
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る基板支持体であり、前記基板支持体は、静電チャックと、前記静電チャック上に載置された基板を囲むように配置されるエッジリングとを含む、基板支持体と、
前記プラズマ処理チャンバ内のガスからプラズマを生成するために R F 電力を生成するように構成される R F 電源と、
少なくとも 1 つの可変受動素子と、
を備え、
前記エッチング方法は、
（a）基板を前記静電チャック上に載置する工程と、
（b）前記 R F 電力によって前記プラズマ処理チャンバ内のガスからプラズマを生成する工程と、
（c）生成されたプラズマで前記基板をエッチングする工程と、
（d）前記可変受動素子を制御して、前記 R F 電力の電圧を制御する工程と、
を含む、エッチング方法。