

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5357639号  
(P5357639)

(45) 発行日 平成25年12月4日(2013.12.4)

(24) 登録日 平成25年9月6日(2013.9.6)

(51) Int.Cl.

H01L 21/3065 (2006.01)

F 1

H01L 21/302 101G

請求項の数 4 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2009-149772 (P2009-149772)  
 (22) 出願日 平成21年6月24日 (2009.6.24)  
 (65) 公開番号 特開2011-9351 (P2011-9351A)  
 (43) 公開日 平成23年1月13日 (2011.1.13)  
 審査請求日 平成24年5月22日 (2012.5.22)

(73) 特許権者 501387839  
 株式会社日立ハイテクノロジーズ  
 東京都港区西新橋一丁目24番14号  
 (74) 代理人 110000350  
 ポレール特許業務法人  
 (72) 発明者 前田 賢治  
 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
 株式会社日立製作所中央研究所内  
 (72) 発明者 横川 賢悦  
 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
 株式会社日立製作所中央研究所内  
 (72) 発明者 田村 智行  
 山口県下松市大字東豊井794番地 株式  
 会社日立ハイテクノロジーズ 笠戸事業所  
 内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

真空排気手段により排気された真空容器と、この真空容器にガスを供給するためのガス供給手段と、前記真空容器内にプラズマを形成するための高周波電源と、被処理基板及びこの基板の外周部に配置されたフォーカスリングとをその上方に載せる基板ステージと、前記基板ステージに高周波バイアス電力を印加する高周波バイアス電源と、前記高周波バイアス電源から出力された高周波バイアス電力の一部を前記フォーカスリングに分配して印加する電力分配手段とを備えたプラズマ処理装置において、

前記フォーカスリングの下面に面し該フォーカスリングの下方でリング状に配置されその内部に熱伝達ガスが導入される溝と、前記フォーカスリングの下方の前記基板ステージの内部に同心状に配置されその内部に冷媒が供給されて循環する通路とを有し、

前記フォーカスリングへの高周波バイアス電力の印加時間を記憶する記憶媒体と、

この記憶された印加時間に応じて、前記フォーカスリングに分配される高周波電力を増大させるように前記電力分配手段を制御すると共に、前記熱伝達ガスの圧力を増大させる又は前記冷媒の温度を低下させることの少なくとも一方を行う制御手段とを設けたことを特徴としたプラズマ処理装置。

## 【請求項 2】

請求項1記載のプラズマ処理装置において、前記フォーカスリングの下部に静電吸着層と電極層及び絶縁層を一体で形成し、前記静電吸着層とフォーカスリングとの間に前記熱伝達ガスが導入される溝を備えたことを特徴としたプラズマ処理装置。

## 【請求項 3】

請求項 1 記載のプラズマ処理装置において、前記フォーカスリングの下部に電極リングと、その下部に絶縁リングを備え、前記絶縁リングの上面に溶射により静電吸着層を形成し、前記フォーカスリング下面と前記静電吸着層の上面との間、前記電極リング下面と前記絶縁リング上面との間、および前記絶縁リング下面と基板ステージの基材外周部の上面との間に、熱伝達ガスを介在させることを特徴としたプラズマ処理装置。

## 【請求項 4】

真空容器内にガスを供給して基板ステージの上面に載置された被処理基板をプラズマ処理するプラズマ処理方法において、

前記基板ステージには、プラズマ生成用高周波電源とは異なる所定の高周波バイアス電力が高周波バイアス電源より印加され、

前記被処理基板が載置される前記基板ステージの上面の周辺に配置されたフォーカスリングには、前記高周波バイアス電源より出力された前記高周波バイアス電力が電力分配手段により分配されて印加され、

前記フォーカスリングの下面に面し該フォーカスリングの下方でリング状に配置された溝の内部には熱伝達ガスが導入され、前記フォーカスリングの下方の前記基板ステージの内部に同心状に配置された通路の内部には冷媒が供給されて循環され、

前記プラズマ処理における前記フォーカスリングに印加される前記高周波バイアス電力の大きさを当該フォーカスリングへの高周波バイアス電力の印加時間に応じて、前記電力分配手段により増大するように調節する一方、

前記基板ステージに印加する前記高周波バイアス電力を前記高周波バイアス電源の出力で調節し、

前記フォーカスリングに印加する前記高周波バイアス電力に応じて、前記フォーカスリングの温度を所定の値となるように調節するプラズマ処理方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、プラズマ処理装置を用いたエッティング工程の中でも絶縁膜のエッティングに用いられるドライエッティング装置（プラズマ処理装置）およびエッティング方法（プラズマ処理方法）に関し、例えば被加工試料のパターンが高アスペクト比コンタクトホールである場合に、特にウエハエッジで発生するホールの傾き（チルティング）やマスク目詰まり、選択比の低下等のエッティング特性の劣化を抑制することができるプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

DRAM (Dynamic Random Access Memory) に代表されるメモリデバイスでは、集積化が進展するに従い、如何にキャパシタ容量を維持できるかが重要となる。キャパシタ構造は大別すると、シリコン基板に深溝を形成するトレンチキャパシタと、トランジスタ上方にキャパシタを形成するスタッカーキャパシタがある。各々のキャパシタとも容量を高めるためには、キャパシタの高さを大きく確保するか、誘電体膜厚を薄くする必要があるが、キャパシタ高さを大きくすることはエッティング性能に依存し、一方誘電体膜厚を薄くすることはシリコン酸化膜では限界を迎えていたため、高誘電材料の開発に依存している。エッティング負荷を小さくするために、低アスペクトパターンでもパターンの両側を電極として用いることでキャパシタ容量を稼ぐ試みがなされているが、微細化のためにパターン底部のみで機械的強度を確保することが困難となり、隣同士のキャパシタが接触してしまう問題が発生している。

## 【0003】

従って、やはりキャパシタとしてはパターン内側を主に用いる構造が主流と考えられ、高アスペクト比の加工は今後も継続すると考えられる。国際半導体技術ロードマップでは、2011年にアスペクト比は50程度と大変高くなり、それを 300 mm ウエハ以上

10

20

30

40

50

の大口径ウエハにて、ウエハ端から 3 mm までは均一に加工することが要求されることになる。恐らく今後は前述のウエハ端から 3 mm という値は次第に小さくなることが望まれ、究極の要求としてはウエハ端 0 mm まで良品を取ることが必要となるであろう。

#### 【 0 0 0 4 】

次に、ドライエッチング方法を説明する。ドライエッチングとは、真空容器内に導入されたエッチングガスを外部から印加された高周波電力によりプラズマ化し、プラズマ中で生成された反応性ラジカルやイオンをウエハに照射し、レジストに代表されるマスク材料や、ピア、コンタクトホール、キャパシタ等の下にある配線層や下地基板に対し、選択的に被加工膜（絶縁膜）をエッチングする技術である。ピアやコンタクトホール、前述のキャパシタ形成では、エッチングガスとして、C F 4、C H F 3、C 2 F 6、C 2 F 4、C 3 F 6 O、C 4 F 8、C 5 F 8、C 4 F 6、C 5 F 6、C 6 F 6 等のフロロカーボンガスに、Ar や Xe に代表される希ガスおよび酸素ガス等の混合ガスを用いる。

#### 【 0 0 0 5 】

また、ウエハに高周波バイアスを印加すると、ウエハ上部にイオンシースと呼ばれる正の空間電荷層が形成され、プラズマ中で生成した正イオンはシース電圧で加速されウエハに入射する。バイアス電圧を制御することで 0.5 kV から 5 kV 程度までイオンエネルギーを制御し、微細かつ垂直な加工形状を実現することができる。この際、ウエハ面内で均一な加工を実現する必要があるが、実際には、ウエハ端の形状異常が問題となることがある。以下、図 9 ~ 図 12 を用いてこれを説明する。

#### 【 0 0 0 6 】

図 9 はエッチング中のウエハ端領域の状態を模式的に示している。また、図 10 はウエハエッジ付近でのエッチング形状を示している。ウエハ 4 の外周部には略円環状部材であるシリコンフォーカスリング 5 1 が設置されているが、このフォーカスリングにも前記高周波バイアスは印加されている。図 9 の破線は、フォーカスリング表面とウエハ表面がほぼ一致している場合のプラズマとシースの境界面の状態を示している。また、図中の矢印は、シース中でイオンが加速される方向を示している。

#### 【 0 0 0 7 】

ここでは、ウエハ 4 とフォーカスリング 5 1 には単位面積当たりに印加される高周波バイアス電力値は同じであるとした。その場合、破線で示したように、ウエハ上のプラズマ / シース境界面とフォーカスリング上のプラズマ / シース境界面の位置は同じとなり、図中の矢印で示したように、イオンはウエハ 4 の端まで垂直に入射する。その結果、図 10 に示したように、ホール形状はウエハ端まで垂直に加工される。

#### 【 0 0 0 8 】

しかしながら、ウエハの処理枚数が増大するに従い、フォーカスリング 5 1 自体も反応性ラジカルやイオン入射の作用によって削れて（消耗して）いく。この場合、例えば図 11 に示したように、ウエハ 4 の表面よりもフォーカスリング 5 1 の表面のほうが下に位置する場合が想定される。ここでもフォーカスリング 5 1 に印加されている高周波バイアスはウエハ 4 に印加されている高周波バイアスと単位面積当たりの値が同じであるとする、図 11 に示したように、ウエハ上に形成されるイオンシースとフォーカスリング上に形成されるイオンシースの厚さは同じとなるため、フォーカスリングが消耗した分だけ、フォーカスリング上のプラズマ / シース境界面は下側にずれる。

#### 【 0 0 0 9 】

その結果、ウエハ端付近のイオンシースが歪み、この部分にあるイオンがウエハ中心側に向かって斜入射する。その際のウエハ端付近のホール加工形状を図 12 に示す。イオンがウエハに対し斜入射するウエハ端付近では徐々にホール形状が斜めに傾いていることが分かる（この現象を以降、チルティングと称する）。これにより、ウエハ端での歩留まりが低下する。歩留まりの低下を防ぐためにフォーカスリングを頻繁に交換することは、装置稼働率の低下とランニングコストの上昇をもたらす。

#### 【 0 0 1 0 】

これに対し、ウエハに印加する高周波バイアス電圧に対するフォーカスリングへのバイ

10

20

30

40

50

アス電圧比を可変とすることが提案されている（例えば、特許文献1参照）。本技術は、ウエハに印加する高周波バイアス電力の一部を、電力分配手段を用いて、フォーカスリングにも印加するものである。

【0011】

ウエハ上やフォーカスリング上に形成されるシースの厚さは、バイアス電圧が高くなると厚くなる。つまり、フォーカスリングが消耗するに従いフォーカスリングに印加するバイアス電圧比をあげることにより、ウエハ/フォーカスリング境界上のプラズマ/シース界面を長期間均一に保つことができる。その結果、長期にわたりチルティングを抑制できる。

【0012】

一方、一般的にエッティング装置ではウエハバイアス電力を一定とした制御を行っている。換言すると、フォーカスリング側に分配する電力とウエハ側に分配する電力の和が一定となる制御を行っている。そのため特許文献1に記載の技術では、フォーカスリングに分配する電力の割合が変化するとウエハ側に分配する電力も変化してしまい、エッティング特性自体が変化してしまうという弊害が発生する。これを回避するために、本件出願人は、ウエハ側に分配する電力が一定になるように制御する発明を特願2009-29252号として先行出願している。また、所望のエッティング特性を得るために、被処理ウエハは表面温度が管理されているが、この温度管理に関する技術が特許文献2に開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0013】

【特許文献1】特開2005-203489号公報

【特許文献2】特開2007-258500号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

特許文献1や本件出願人の先行出願に記載の技術を用いればウエハエッジ部のチルティングを長期に渡り抑制できるが、次に示すような別の問題が発生する。

【0015】

通常所望のエッティング特性を得るために、被処理ウエハは表面温度が30から120程度になるように温度調節されている。一方、フォーカスリングは消耗部品であるため、基板ステージから容易に着脱可能な構造とすることが多く、真空雰囲気中ではフォーカスリングが熱的に浮いた状態になってしまふ。このため、高ウエハバイアス条件を用いる絶縁膜エッティングでは、フォーカスリングは熱の逃げ場がなく温度が600から800にも達する。シュテファン・ボルツマンの法則によれば、輻射によるエネルギーは絶対温度の4乗に比例するため、ウエハエッジ部の温度はフォーカスリングからの輻射熱の影響を強く受けることになる。

【0016】

また、前記のようにチルティングを抑制するため、フォーカスリングの消耗するに従いフォーカスリングに印加するバイアス電圧比を上げると、フォーカスリングの温度も一緒に上昇し、その輻射によりウエハエッジ部の温度も上昇してしまうことになる。

【0017】

このように、ウエハエッジ部の温度が上昇すると、ウエハエッジ部でのエッチストップの発生、マスクの目詰まりの発生、もしくはマスク選択比が低下する、といったエッティング特性への致命的な弊害が発生し、エッジ部での歩留りが著しく低下する恐れが大きく、長期にわたりウエハエッジ部で良好なエッティング特性を維持することができない可能性がある。

【0018】

前記特許文献2に示したように、フォーカスリングを冷却する技術も開示されている。しかるに、単にフォーカスリングを冷却し、フォーカスリングに分配するバイアス電力を

10

20

30

40

50

制御しただけでは、前記したフォーカスリングの消耗に伴うウエハエッジ部でのエッチング特性の劣化を抑制することはできない。フォーカスリング冷却によりフォーカスリングの温度を抑制したとしても、長期間に渡るフォーカスリングの温度変化を抑制することは困難であるからである。

【0019】

本発明は、前記従来技術の欠点に鑑み、フォーカスリングの消耗によるチルティングの抑制と、フォーカスリングの温度上昇によるエッチング特性の悪化防止との相反する要求を同時に満足するプラズマ処理装置、及びプラズマ処理方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

【0020】

上記目的を達成するために、本発明は、真空排気手段により排気された真空容器と、真空容器にガスを供給するためのガス供給手段と、前記真空容器内にプラズマを生成するための高周波電力供給手段と、被処理基板とこの基板の外周部に配置されたフォーカスリングを載せる基板ステージと、前記基板ステージに高周波バイアス電力を印加する高周波バイアス電源と、前記高周波バイアス電源から出力された電力の一部をフォーカスリングに分配して印加する電力分配手段とを備えたプラズマ処理装置において、

前記フォーカスリングの下面に面し該フォーカスリングの下方でリング状に配置されその内部に熱伝達ガスが導入される溝と、前記フォーカスリングの下方の前記基板ステージの内部に同心状に配置されその内部に冷媒が供給されて循環する通路とを有し、

20

前記フォーカスリングへの高周波バイアス電力の印加時間を記憶する記憶媒体と、

この記憶された印加時間に応じて、フォーカスリングに分配される高周波電力を増大させるように前記電力分配手段を制御すると共に、前記熱伝達ガスの圧力を増大させる又は前記冷媒の温度を低下させることの少なくとも一方を制御する制御手段を設けたことを特徴とする。

【0021】

また、上記のプラズマ処理装置において、前記フォーカスリングの下部に静電吸着層と電極層及び絶縁層を一体で形成し、前記静電吸着層とフォーカスリングとの間に前記熱伝達ガス溝を形成したことを特徴とする。

【0022】

30

また、上記のプラズマ処理装置において、前記フォーカスリングの下部に電極リングと、その下部に絶縁リングを備え、前記絶縁リングの上面に溶射により静電吸着層を形成し、前記フォーカスリング下面と前記静電吸着層の上面との間、前記電極リング下面と前記絶縁リング上面との間、および前記絶縁リング下面と基板ステージの基材外周部の上面との間に、熱伝達ガスを介在させることを特徴とする。

【0026】

また、本発明は、真空容器内にガスを供給して基板ステージの上面に載置された被処理基板をプラズマ処理するプラズマ処理方法において、

前記基板ステージには、プラズマ生成用高周波電力とは異なる所定の高周波バイアス電力が高周波バイアス電源より印加され、

40

前記被処理基板が載置される前記基板ステージの上面の周辺に配置されたフォーカスリングには、前記高周波バイアス電源より出力された高周波バイアス電力が電力分配手段によって分配されて印加され、

前記フォーカスリングの下面に面し該フォーカスリングの下方でリング状に配置された溝の内部には熱伝達ガスが導入され、前記フォーカスリングの下方の前記基板ステージの内部に同心状に配置された通路の内部には冷媒が供給されて循環され、

前記プラズマ処理における前記フォーカスリングに印加される前記高周波バイアス電力の大きさを当該フォーカスリングへの高周波バイアス電力の印加時間に応じて、前記電力分配手段により増大するように調節する一方、

前記基板ステージに印加する前記高周波バイアス電力を前記高周波バイアス電源の出力

50

で制御し、

前記フォーカスリングに印加する高周波バイアス電力に応じて、前記フォーカスリングが所定温度となるように制御されることを特徴とする。

【発明の効果】

【0027】

本発明によれば、プラズマ処理の進行に伴いフォーカスリングが消耗した際に、ウエハエッジ部でのチルティングを抑制するためにフォーカスリングに印加するバイアス電圧を上昇させても、フォーカスリングの温度を制御しているので、エッティング特性の悪化を防止することができる。

【0028】

さらには、フォーカスリングに分配する高周波電力に応じて熱伝達ガスの圧力や下部電極外周部の冷媒温度を制御することにより、フォーカスリングの温度を長期間に渡りきめ細かく制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】本発明の第一の実施例を示す縦断面図。

【図2】本発明による基板ステージの外周部における縦断面図。

【図3】フォーカスリング下方に設けた電極パターンと伝熱ガス孔パターンの一例を示す平面図。

【図4】フォーカスリング下方に設けた電極層への給電部を示す縦断面図。

20

【図5】従来例におけるフォーカスリングの温度を示すグラフ。

【図6】本発明におけるシーケンス図とフォーカスリングの温度を示すグラフ。

【図7】本発明における制御のフローチャート。

【図8】本発明の第二の実施例における基板ステージの外周部の縦断面図。

【図9】正常なホール加工を説明する模式図。

【図10】正常なホール加工を説明する模式図。

【図11】ホール加工におけるチルティングを説明する模式図。

【図12】ホール加工におけるチルティングを説明する模式図。

【発明を実施するための形態】

【0030】

30

以下、図1から図7を用いて本発明の第1の実施例を説明する。図1は本実施例によるプラズマ処理装置の縦断面図、図2は本実施例による基板ステージの外周部における縦断面図、図3はフォーカスリングの下方に設けた電極パターンと伝熱ガス孔パターンの一例を示す平面図、図4はフォーカスリング下方に設けた電極層への給電部を示す縦断面図である。

【0031】

図1において、本実施例によるプラズマ処理装置は、真空容器1内に、上部電極2と、シャワープレート3と、絶縁部材14、15と、円盤状の被処理ウエハ(被処理基板)4を載置するための基板ステージ5とが設けられている。基板ステージ5には、被処理ウエハ4の外周部に略円環状の部材(フォーカスリング)51が載置されている。また、基板ステージ5は、被処理ウエハ4にバイアス高周波電力を供給する下部電極を兼用している。

【0032】

さらに、真空容器1には、コンダクタンス調整バルブ6と、真空排気系7とが設けられている。エッティングガスは、ガス供給系8により所望の流量に調節され、シャワープレート3を介して真空容器1に導入される。プラズマ処理中の圧力は、前述したコンダクタンス調節バルブ6により、0.2Paから20Pa程度の所望の圧力に調節できる。

【0033】

上部電極3には、プラズマ生成用高周波電源9が第一の整合器10を介して接続されており、真空容器1内にプラズマ生成用の高周波電力を供給する。真空容器内1に所望の流

40

50

量でガスを導入し、所望の圧力に調圧した後に、プラズマ生成用高周波電源 9 から電力を供給することで、被処理ウエハ 4 の上部にプラズマを生成させることができる。

【 0 0 3 4 】

基板ステージ 5 には電力分配手段 1 3 と第二の整合器 1 2 を介してバイアス用高周波電源 1 1 が接続されている。被処理基板（ウエハ）4 の上部にプラズマを生成させた状態で基板 4 にウエハバイアスを印加することにより、プラズマ中のイオンを基板 4 に引き込むことで微細なパターンを垂直に加工することができる。電力分配手段 1 3 はバイアス用電源 1 1 から供給される高周波電力を、ウエハ 4 とウエハ外周部に設置した略円環状のフォーカスリング 5 1 とに、所望の割合で分配する役割を担っており、可変容量のコンデンサからなっている。また、基板ステージ 5 の最外周には石英もしくは高純度アルミナセラミクス等のファインセラミクス製のサセプタ 5 3 が配置されている。これにより、バイアスを印加した際に基板ステージ 5 の側壁等がイオン衝撃により消耗することを防ぐことが出来る。

【 0 0 3 5 】

201 は制御手段で、上記フォーカスリング 5 1 への高周波バイアス電力の印加時間を記憶する記憶手段 201 a を内蔵し、記憶された印加時間に応じて上記バイアス電源 1 1 の出力を制御すると共に、上記電力分配手段 1 3 の電力の分配割合を制御する。

【 0 0 3 6 】

基板ステージ 5 は、ウエハ 4 にバイアスを印加するだけでなく、ウエハ 4 をステージ 5 に静電吸着し、ウエハを温調する機能も備えている。以下、図 2 を中心に基板ステージ 5 の構成を詳細に説明する。

【 0 0 3 7 】

基板ステージ 5 は、アルミニウムもしくはチタン等の導電性のステージ基材 5 5 の内周部に同心円状に冷媒溝 5 6 を設け、その上部に厚さ 20  $\mu\text{m}$  から 2000  $\mu\text{m}$  程度の第一の静電吸着層 5 9 を一体で形成した構成となっている。冷媒溝 5 6 には温調機 2 0 ( 図 1 ) が接続されており、所望の温度に調節された冷媒を循環させることで、ステージ基材 5 5 の内周部及び第一の静電吸着層 5 9 を所望の温度に調節できる。また、ステージ基材 5 5 には図示しない直流電源が接続されており、数十Vから数kVの電圧を印加することで、被処理ウエハ 4 を静電吸着できるように構成されている。静電吸着膜 5 9 はアルミナ、アルミナ / チタニア、もしくはイットリア等の溶射により形成されてもよく、アルミナまたは窒化アルミ等の焼結体を、接着剤、ろう付け等の手段でステージ基材 5 5 に接合しても構わない。

【 0 0 3 8 】

プラズマ処理は、0.2Pa から 20Pa 程度の減圧下で行なわれるため、基板ステージにウエハを載置しウエハを静電吸着しただけではウエハ自体の温度調節は殆どできない。そこで、第一の伝熱ガス導入機構 2 1 ( 図 1 ) よりウエハ裏面に He 等の伝熱ガスを、0.5kPa から 5kPa 程度の圧力で導入することで、ウエハと静電吸着層 5 9 との間の熱伝達率を促進させている。第一の静電吸着層 5 9 の上面には伝熱ガスをウエハ裏面に均一に分散させるために、深さ 20  $\mu\text{m}$  から 200  $\mu\text{m}$  程度のガス溝 6 0 が設けられている。

【 0 0 3 9 】

さらに、基板ステージ 5 の外周部の上面には、被処理ウエハ 4 の外周を取り囲むように Si または SiC 製のフォーカスリング 5 1 が配置されている。フォーカスリング 5 1 は消耗部品となるため、基板ステージ 5 から容易に着脱可能になっている。フォーカスリング 5 1 の下部には第二の静電吸着層 5 4 を介して電極層 5 2 が配置されており、電力分配手段 1 3 ( 図 1 ) によりウエハバイアスとして供給される高周波電力の一部がここに供給される。電極層 5 2 に供給された高周波電力は、静電吸着層 5 4 を介してフォーカスリング 5 1 に印加される。

【 0 0 4 0 】

第二の静電吸着層 5 4 及び電極層 5 2 と、ステージ基材 5 5 の外周部の間には、第一の絶縁層 6 2 が配置されている。また、フォーカスリング 5 1 及び静電吸着層 5 4 と、基材

10

20

30

40

50

5 5 の間には、第二の絶縁層 6 1 が配置されている。また、フォーカスリングが容易に着脱可能な構造であるのに対し、上記した第二の静電吸着層 5 4 、電極層 5 2 、第一の絶縁層 6 2 は全てが接合され一体形成されている。これらの部材を一体形成することの目的は、部材の間に真空断熱層を介在させず、熱の伝達率を良くして熱移動を妨げないことにあ  
る。

#### 【 0 0 4 1 】

電極層 5 2 には図示しない直流電源が接続されており、フォーカスリング 5 1 を静電吸着できるようになっている。静電吸着層 5 4 の上部には伝熱ガス溝 6 3 が設けられており、伝熱ガス導入機構 2 3 ( 図 1 ) から 3 本乃至 3 0 本程度の複数のアルミナ製のガス導入チューブ 7 3 を介してフォーカスリング 5 1 の裏面に He 等の伝熱ガスを導入できる構成となっている。これにより、フォーカスリング 5 1 と静電吸着層 5 4 の間の熱伝達率を促進させることができる。なお、伝熱ガス導入機構 2 3 は制御手段 2 0 1 により伝熱ガスの圧力が制御され、伝熱ガス溝 6 3 内のガスの熱の伝達率を制御することで、フォーカスリング 5 1 の小幅な温度制御がなされる、。

10

#### 【 0 0 4 2 】

ここで図 3 に、第一の絶縁層 6 2 、電極層 5 2 、及び絶縁パイプ 7 3 の平面内での配置の一例を示す。本例ではガス導入チューブは、電極層 5 2 を避けるように、周方向 8 箇所に、その間隔が概ね均等になるように配置されている。ガス導入チューブを複数本配置するのは、フォーカスリング 5 1 下部に導入する伝熱ガスの周方向の圧力差をなくすためである。また、ガス導入チューブ 7 3 を、電極層 5 2 を避けるように配置することで、該チューブ内での異常放電の可能性を下げることができる。さらに、図示はしないが、ガス導入チューブの先端に多孔質セラミクスを配置することで異常放電のリスクをさらに下げる事ができる。もしくは、ガス導入チューブを、直径 3mm-15mm 程度の外形で内側に 0.1mm-0.5mm の微細な孔を数個から数十個程度設けた構造とすることで異常放電のリスクをさらに下げる事ができる。

20

#### 【 0 0 4 3 】

再び図 2 に戻り説明を続ける。フォーカスリング 5 1 、第二の静電吸着層 5 4 、電極層 5 2 及び第一の絶縁層 6 2 の下方であって、ステージ基材 5 5 の外周部には、第二の冷媒溝 5 8 が設けられている。第二の冷媒溝 5 8 には、第二の温調機 2 2 ( 図 1 ) が接続されており、所望の温度に調節された冷媒を流すことによりステージ基材 5 5 の外周部を温調可能としている。プラズマからフォーカスリング 5 1 への入熱は、フォーカスリング 5 1 、静電吸着層 5 4 、電極層 5 2 及び第一の絶縁層 6 2 を介して、ステージ基材 5 5 の外周部に効率的に排出することができる。このため、フォーカスリングを効率的に冷却できる。なお、上記温調機 2 2 は、前記制御手段 2 0 1 により冷媒の温度が制御され、ステージ基材 5 5 の外周部の大きな温度制御に適している。

30

#### 【 0 0 4 4 】

また冷媒溝を 5 6 と 5 8 の 2 系統設けたことにより、被処理ウエハ 4 の温度とフォーカスリング 5 1 の温度を独立に制御可能とし、温度的に最適なエッチング条件でプラズマ処理が行える。さらには、第一の冷媒溝 5 6 と第二の冷媒溝 5 8 との間に、真空断熱層 5 7 を設けることにより、温度の独立制御性をさらに向上させることができる。真空断熱層を省略すると、温度の独立制御性は若干損なわれるが、その分コストを低減できることは言うまでもない。

40

#### 【 0 0 4 5 】

第一の絶縁層 6 2 及び第二の絶縁層 6 1 は、基材 5 5 と、電極層 5 2 、静電吸着層 5 4 及びフォーカスリング 5 1 との高周波的なカップリングを小さくする役割を担っている。絶縁層の材質としては、絶縁耐圧が高く、熱伝導率が比較的高い材質で、かつ汚染を引き起こさない材料である窒化アルミニウム(AlN)やアルミナ(Al2O3)等の材質が好ましい。これらの絶縁層の厚さは 200 μm から 30mm の間で適宜選択される。これらの絶縁層が 200 μm 以下であると、基材 5 5 と、電極層 5 2 、静電吸着層 5 4 及びフォーカスリング 5 1 との高周波的なカップリングが強くなり、フォーカスリング 5 1 に分配する高周波バイアス電力

50

の制御性が悪化する。一方で、第一の絶縁層 6 2 の厚さが30mm以上あると、第一の絶縁層 6 2 での熱抵抗が大きくなりすぎるため、プラズマからフォーカスリング 5 1 への入熱を、ステージ基材 5 5 に逃がす事が難しくなる。つまり、フォーカスリングの冷却や温度制御が困難になってしまう。

【 0 0 4 6 】

本実施例の特徴は、これまでに説明してきたように、第一の絶縁層 6 2 と、電極層 5 2 と、静電吸着層 5 4 とを、ステージ基材 5 5 と一体となるように形成することにある。さらには、プラズマ処理中にフォーカスリング 5 1 を静電吸着し、フォーカスリング 5 1 と静電吸着層 5 4 との間にHe等の伝熱ガスを介在させることにある。このような構成とすることにより、0.2Paから20Pa程度の減圧下でもフォーカスリング 5 1 を効率よく冷却、温調可能にできる。

【 0 0 4 7 】

以下、絶縁層 6 2 と、電極層 5 2 と、静電吸着層 5 4 とを、ステージ基材と一体となるように形成する手順の一例を説明する。

【 0 0 4 8 】

まず、基材 5 5 の外周部に第一の絶縁層 6 2 を形成する。第一の絶縁層 6 1 は厚さ10mm程度の略円環状をしたA1Nの焼結体であり、これをステージ基材に接着剤もしくは、口ウ付け等の手段で接合する。次に、ステージ基材 5 5 の上部の側壁に第二の絶縁層 6 2 を、アルミナ等の溶射により1000  $\mu\text{m}$ 程度の厚さで形成する。次に第一の絶縁層 6 2 の上部にタングステンを溶射することで電極層 5 2 を形成する。電極層 5 2 の厚さは20  $\mu\text{m}$ から500  $\mu\text{m}$ 程度である。この値は、タングステンの抵抗率により適宜決定する。次に電極層 5 2 及び、第一の絶縁層 6 2 の上部に、アルミナもしくはアルミナ/チタニア混合物を50  $\mu\text{m}$ から1000  $\mu\text{m}$ の厚さで溶射することで、静電吸着層 5 4 を形成する。最後に静電吸着層 5 4 の上部に研削もしくはプラスト処理で深さ20  $\mu\text{m}$ から200  $\mu\text{m}$ 程度の伝熱ガス溝 6 3 を形成する。

【 0 0 4 9 】

なお、ここまでに説明した絶縁層と、電極層と、静電吸着層とをステージ基材と一体となるように形成する手順はあくまで一例であり、他の成膜手段や接合手段を用いても何ら問題はない。

【 0 0 5 0 】

次に図4を用いて電極層 5 2 への給電方法の一例を示す。電極層 5 2 への給電は、ステージ基材 5 5 及び第一の絶縁層 6 2 に貫通穴を設けておき、その中に電気的な絶縁をとるための絶縁パイプ 7 0 を埋め込む。このパイプの先端に導電性のソケット 7 1 を埋め込んでおく。このソケット 7 1 の上端が第一の絶縁層 6 2 の上面に露出するように配置し、その上にタングステンを溶射することで電極層 5 2 を形成する。これにより、ソケット 7 1 と電極層 5 2 との電気的導通が確実なものになる。

【 0 0 5 1 】

さらに、導電ケーブル 7 5 の先端にプラグ 7 2 を装着し、これをソケット 7 1 の口に迎合するように挿入することで、電極層 5 2 に給電可能となる。また、上記した構造とすることで、導電ケーブル 7 5 を電極層 5 2 から容易に着脱可能とすることができますため、メンテナンス性や組み立て性が向上する。本実施例では給電部は一箇所しか示していないが、給電する電力が大きい場合には、2箇所以上で給電しても構わない。

【 0 0 5 2 】

ここまでに説明してきた基板ステージ 5 、およびこれを備えたプラズマ処理装置を用いることにより、フォーカスリング 5 1 の冷却効率を飛躍的に高める事ができる。フォーカスリング 5 1 の絶対温度を低くすることにより、フォーカスリング 5 1 からウエハエッジ部への熱の輻射の影響を小さくする事ができる。これにより、プラズマ処理が進行して時間の経過と共にフォーカスリング 5 1 が消耗した際に、ウエハエッジ部でのチルティングを補正するためにフォーカスリングに印加するバイアス電圧を上昇させるが、このバイアス電圧の上昇によりフォーカスリングの温度が若干上昇したとしても、フォーカスリング

10

20

30

40

50

の絶対温度が低下するように制御されるため、熱輻射の影響が抑えられ、ウエハエッジ部の温度上昇を抑える事ができる。

#### 【0053】

さらに、本実施例においては、前述したように、ウエハ4の温度と、フォーカスリング51の温度を独立に制御できる。これにより、フォーカスリング51の温度自体も一定（所定範囲内）に保つことができる。すなわち、フォーカスリング51が消耗しても、長期間にわたり、ウエハエッジ部でのエッチングを抑制することができる、ひいては、ウエハエッジ部での歩留り低下を長期間に渡り抑制することができる。さらには、フォーカスリング自体の温度を低下することにより、フォーカスリングの消耗速度を抑える事ができる。これによりウエット周期の長時間化が図れ、装置の稼働率が向上する事が期待できる。

10

#### 【0054】

次に、図5に示す本実施例の対策が無い場合の、放電時間（フォーカスリング51への高周波バイアス電力の印加時間）に対する、フォーカスリングの温度と分配される高周波バイアス電力のシーケンス図と、図6に示す本実施例における、放電時間（フォーカスリング51への高周波バイアス電力の印加時間）に対する、フォーカスリングの温度、高周波バイアス電力、伝熱ガスの圧力および冷媒温度のシーケンス図を用いて動作を説明する。

#### 【0055】

ウエハの処理を重ね、フォーカスリング51への高周波バイアス電力の印加時間が長くなると（例えば100時間単位）、フォーカスリング51が消耗してくる。この消耗によるウエハエッジ部でのチルティングを補正するために、フォーカスリング51に分配されるバイアス電圧を上昇させる（図5、図6、最上段の線）。図5では、バイアス電圧の上昇と共にフォーカスリング51の温度が次第に上昇する。

20

#### 【0056】

本実施例の図6では、フォーカスリング51への高周波バイアス電力の印加時間が所定時間（100時間）になると、制御手段201の指令によりフォーカスリング51に分配されるバイアス電圧を上昇させ、同時に伝熱ガス溝63の伝熱ガス圧力を増加させ、フォーカスリングの下部に流す冷媒溝58の冷媒温度を低下させる（共に図6の中段の線）。これにより、上昇しようとするフォーカスリング51の温度を伝熱ガスと冷媒で吸収することで所定内（一定）に保つ事ができる（図6、最下段の線）。

30

#### 【0057】

従って、フォーカスリング51からウエハエッジへの輻射熱が変化しないため、ウエハエッジ部の温度の経時変化を抑える事ができ、ウエハエッジ部のエッチング特性の劣化を抑制できる。なお、上記でフォーカスリング51に分配されるバイアス電圧を上昇させるに際し、制御手段201の指令により高周波バイアス電源11を制御して全体のバイアス電力を所定の値に上昇させる。これは、フォーカスリングへのバイアス電力の増加分を補って、基板ステージ5への印加電力を所定値確保してエッチング特性を維持するためである。

#### 【0058】

40

さらに、図示はしないが、フォーカスリング下部の熱伝達ガスの圧力を上昇させ、フォーカスリング51からステージ基材55の外周部までの熱伝達率を上げることだけでも、小さいながらも（微調整）同様の効果が期待できる。また、図示はしないが、第二の冷媒溝58に流す冷媒の温度のみを下げるだけでも、小さいながらも同様の効果が期待できる。

#### 【0059】

また、図6ではフォーカスリング51に印加する高周波バイアス電力と、冷媒温度をステップ状に変更しているが、これらをリニアに滑らかに制御しても同様の効果が期待できる。さらには、図示はしなかったが、第一の絶縁層62の内部、もしくは、下部に、蛍光温度計やPtセンサ等の温度モニタ手段を設置し、観測される温度によるフィードバック制

50

御を行っても構わない。このような構成とすることで、よりきめ細かい温度制御が可能になることは言うまでもない。

【0060】

次に図7に、図6で説明した制御手段201による制御動作のフローチャートを示す。

【0061】

ステップ301の初期状態から302の累積放電時間(プラズマ処理時間)が所定時間経過した後に、ステップ303でフォーカスリングの消耗量を推定する。これはさまざまな条件でエッティングを行う場合にも対応可能とするためである。エッティングが常に同じ条件で行われるのであればフォーカスリングの消耗量の推定は必要ないが、エッティング条件が異なるれば、フォーカスリングの消耗速度も異なってくるためである。フォーカスリングの消耗量の推定は、先行出願に記載されているが、エッティング条件と消耗量を予めテーブルに記憶しておくことで実現できる。

10

【0062】

上記ステップ302での累積放電時間の経過は、制御手段201に内蔵された記憶手段201aにフォーカスリングへの高周波バイアス電力の印加時間の記憶で把握しておき、記憶された印加時間に応じてステップ303、304でフォーカスリングの消耗量を推定してその量が所定値を超えたときステップ305で制御手段201から各種指令を発して各部を制御する。

【0063】

先ず、(a)上記電力分配手段13を制御して、フォーカスリングへのバイアス電力比を所定値に上昇させる。

20

次に、(b)高周波バイアス電源11を制御して全体のバイアス電力を所定の値に上昇させる。これは、フォーカスリングへのバイアス電力の增加分を補って、基板ステージ5への印加電力を所定値確保してエッティング特性を維持するためである。

次いで、(c)フォーカスリングへ分配されたバイアス電力に対応して伝熱ガス導入機構23を制御し、伝熱ガス溝63の伝熱ガス圧力を所定の値に上昇させる。

続いて(d)フォーカスリングへ分配されたバイアス電力に対応して温調機22を制御し、第二冷媒溝58の冷媒温度を所定の値に低下させる。

【0064】

上記(c)(d)での伝熱ガス圧力と冷媒温度は、フォーカスリングの上昇しようとする温度分を放熱するために設定されるので、上昇しようとする温度分の根拠となるフォーカスリングへ分配されたバイアス電力に対応して制御がなされる。なお、フォーカスリングの消耗を検知するためのセンサーを用いれば、より確度の高い制御を行うことができる。

30

【0065】

次に図8を用いて本発明の第二の実施例について説明する。これまでに説明した部分と重複する部分は説明を省略する。図8は本発明の第二の実施形態における基板ステージの外周部の縦断面図である。

【0066】

フォーカスリング51の下部には電極リング102及び絶縁リング101が配置されている。両リングには周方向に渡り複数箇所の貫通穴が設けられており、複数の絶縁ボルト103でステージ基材55の外周部に締結する構造となっている。また、ステージ基材55の外周部にも複数の貫通穴が設けられており、該貫通穴にはアルミナセラミクス製の複数の伝熱ガス導入チューブ73が挿入されている。

40

【0067】

絶縁リング101の下面と上面には、深さ20μmから200μm程度の伝熱ガス溝104、108が、それぞれ形成されている。伝熱ガス導入チューブ73から導入された伝熱ガスはガス溝104を伝わり、周方向に均一に行き渡る構造となっている。さらに、伝熱ガス溝104と108は、内径0.2mmから2mm程度の複数の貫通ガス孔105により接続されており、ガス溝104に供給された伝熱ガスは貫通ガス孔105を通り、ガス溝108

50

に均一に行き渡る構造となっている。また、伝熱ガス導入チューブ 7 3 と貫通ガス孔 1 0 5 は、ガス孔やガス溝内部での異常放電を抑止する目的で、互いに見込めない位置関係に配置されている。

【 0 0 6 8 】

絶縁リング 1 0 1 は、電極リング 1 0 2 とステージ基材 5 5 との高周波的なカップリングを小さくする役目も担っている。絶縁リングの材質としては、絶縁耐圧が高く、熱伝導率が比較的高い材質で、かつ汚染を引き起こさない材料である窒化アルミニウム(AlN)やアルミナ(Al2O3)等の材質が好ましい。

【 0 0 6 9 】

電極リング 1 0 2 には、内径 0.2mmから 2mm程度の複数の貫通ガス孔 1 0 6 が形成されている。また、電極リング 1 0 2 の上面には、図示していないが、アルミナもしくは、アルミナ/チタニア混合物の溶射により、厚さ200 μmから1000 μm程度の静電吸着膜が形成されている。さらに、静電吸着膜の表面には、伝熱ガス溝 1 0 7 が形成されている。絶縁リング 1 0 1 の上面に形成された伝熱ガス溝 1 0 8 に行き渡った伝熱ガスは、電極リングの貫通ガス孔 1 0 6 を通じて伝熱ガス溝 1 0 7 に均一に行き渡る構成となっている。貫通ガス孔 1 0 6 と 1 0 5 とは、ガス孔やガス溝内部での異常放電を抑止する目的で、互いに見込めない位置関係に配置されている。

【 0 0 7 0 】

電極リング 1 0 2 には、フォーカスリング 5 1 に高周波バイアスを印加するため、電力分配機構 1 3 (図 1)からの出力が接続されている。また、フォーカスリング 5 1 を静電吸着するための図示しないDC電源も接続されている。電極リング 1 0 2 の材質は、チタンもしくはアルミ合金、もしくは、低効率の低いシリコンや炭化シリコン (SiC) 等の導電体で、かつ、汚染を引き起こさない材質が好ましい。

【 0 0 7 1 】

プラズマを生成した状態で電極リングに数百Vから数kVのDC電圧を印加することにより、フォーカスリングを電極リングに静電吸着できる。この状態で伝熱ガス導入チューブより伝熱ガスを導入することで、フォーカスリング 5 1 の下面と電極リング 1 0 2 の上面の隙間、電極リング下面と絶縁リング 1 0 1 の上面の隙間、絶縁リングの下面とステージ基材 5 5 上面との隙間、全ての隙間に伝熱ガスが行き渡り、フォーカスリング 5 1 を効率的に冷却できる。これにより、冷却しなかった場合は600 から800 にもなってしまうフォーカスリングの温度を、400 以下に抑制することが可能となる。これにより、フォーカスリングからウエハエッジへの輻射熱の影響を小さくできる。これにより、フォーカスリングが消耗した際にチルティングを抑制するために、フォーカスリングに分配するバイアスを上げた際のウエハエッジ部での温度上昇を抑制でき、ウエハエッジ部でのエッチング特性の劣化を抑制できる。

【 0 0 7 2 】

以上、本発明における基板ステージ、プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法の実施例を、上部電極と基板ステージにそれぞれ一台ずつの高周波電源を接続した平行平板タイプのプラズマ源を例に説明してきた。ただし、本発明は、プラズマ源の種類により限定されることはない。すなわち、(1)上部電極に2台以上の電源を接続するタイプ、(2)下部電極に2台以上の電源を接続するタイプ、(3)上記タイプの組み合わせ、及び、これら磁場による制御を加えるタイプの、いずれのプラズマ源と組み合わせても、その効果を発揮できる。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 3 】

1 ... 真空容器、2 ... 上部電極、3 ... シャワープレート、4 ... 被処理ウエハ (被処理基板) 、5 ... 基板ステージ (下部電極) 、6 ... コンダクタンス調節バルブ、7 ... 真空排気系、8 ... ガス供給系、9 ... プラズマ生成用高周波電源、10 ... 第一の整合器、11 ... 高周波バイアス電源、12 ... 第二の整合器、13 ... 電力分配手段、20 ... 第一の温調機、21 ... 第一の伝熱ガス導入機構、22 ... 第二の温調機、23 ... 第二の伝熱ガス導入機構、51 ... 略

10

20

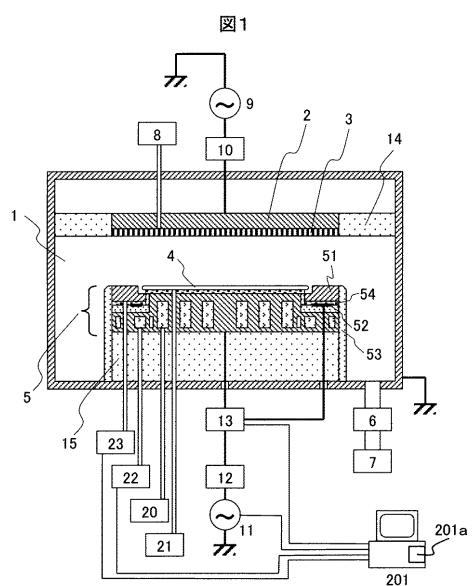
30

40

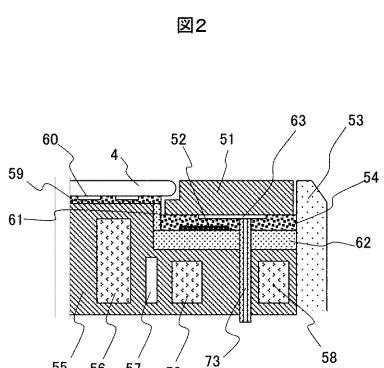
50

円環状部材(フォーカスリング)、52…電極層、53…サセプタ、54…第二の吸着層、55…ステージ基材、56…第一の冷媒溝、57…真空断熱層、58…第二の冷媒溝、59…第一の静電吸着層、60…伝熱ガス溝、61…第二の絶縁層、62…第一の絶縁層、63…伝熱ガス溝、70…絶縁パイプ、71…ソケット、72…プラグ、73…伝熱ガス導入チューブ、75…導電ケーブル、101…絶縁リング、102…電極リング、103…絶縁ボルト、104…伝熱ガス溝、105…貫通ガス孔、106…貫通ガス孔、107…伝熱ガス溝、108…伝熱ガス溝、201…制御手段、201a…記憶媒体。

【図1】



【図2】



【図3】

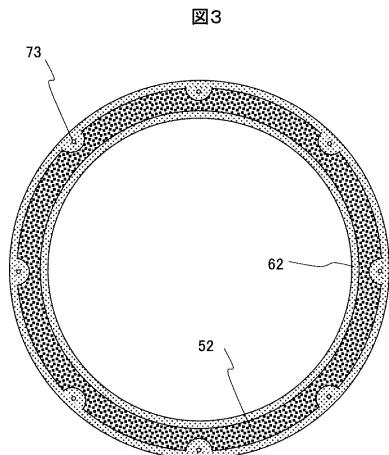


図3

【図4】

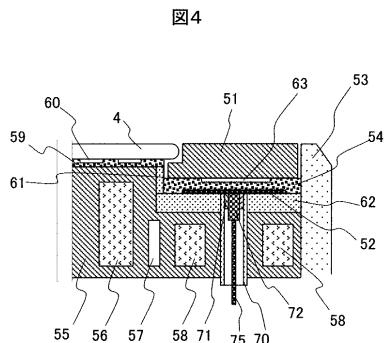
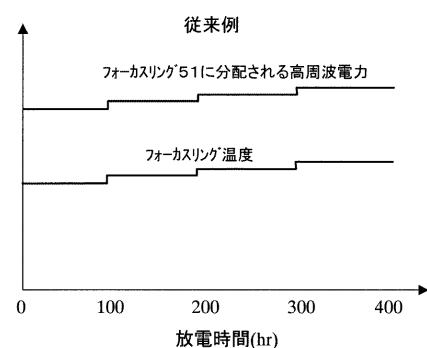


図4

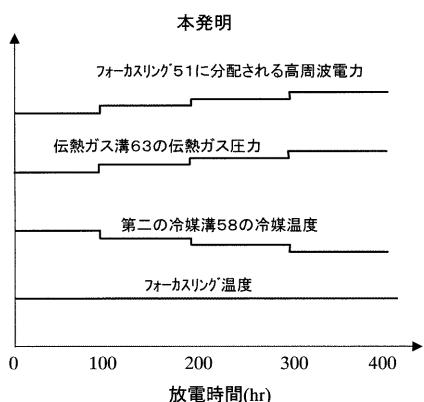
【図5】

図5



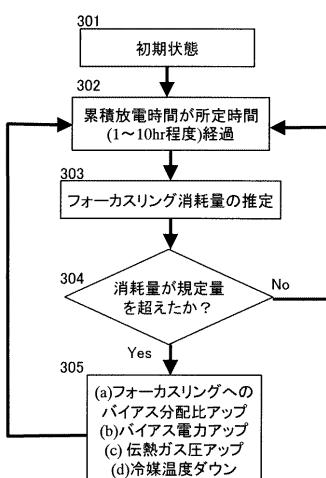
【図6】

図6



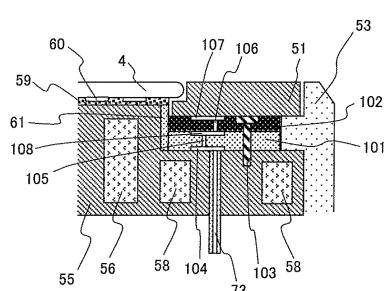
【図7】

図7



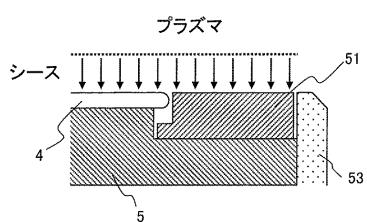
【図8】

図8



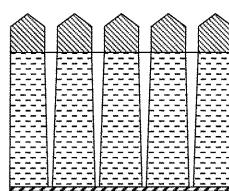
【図9】

図9



【図10】

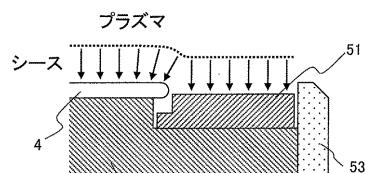
図10



ウエハ中心 ←→ ウエハエッジ

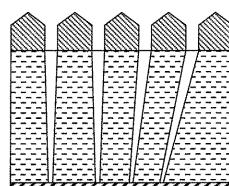
【図11】

図11



【図12】

図12



ウエハ中心 ←→ ウエハエッジ

---

フロントページの続き

(72)発明者 廣實 一幸

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ 笠戸事業所内

(72)発明者 一野 貴雅

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ 笠戸事業所内

審査官 長谷部 智寿

(56)参考文献 特開2000-150485(JP,A)

特開2006-319043(JP,A)

特開2005-064460(JP,A)

特開2007-258500(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065

H01L 21/205

H05H 1/46

C23F 4/00