

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6567489号
(P6567489)

(45) 発行日 令和1年8月28日 (2019.8.28)

(24) 登録日 令和1年8月9日 (2019.8.9)

(51) Int.Cl.	F I
H O 1 L 21/31 (2006.01)	H O 1 L 21/31 C
H O 1 L 21/318 (2006.01)	H O 1 L 21/318 B
C 2 3 C 16/505 (2006.01)	C 2 3 C 16/505
C 2 3 C 16/52 (2006.01)	C 2 3 C 16/52
H O 5 H 1/46 (2006.01)	H O 5 H 1/46 A

請求項の数 10 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2016-252878 (P2016-252878)	(73) 特許権者	318009126
(22) 出願日	平成28年12月27日 (2016.12.27)		株式会社 K O K U S A I E L E C T R I C
(65) 公開番号	特開2018-107304 (P2018-107304A)		C
(43) 公開日	平成30年7月5日 (2018.7.5)		東京都千代田区神田鍛冶町3丁目4番地
審査請求日	平成30年9月12日 (2018.9.12)	(74) 代理人	110000039
			特許業務法人アイ・ピー・ウィン
		(72) 発明者	竹田 剛
			富山県富山市八尾町保内二丁目1番地 株式会社日立国際電気内
		審査官	佐藤 靖史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 基板処理装置、半導体装置の製造方法及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板を処理する処理室と、
 前記処理室内へガスを供給するガス供給部と、
 高周波電源に接続される電極を有し、前記処理室内に供給された前記ガスをプラズマ化させることにより活性化させるプラズマ生成部と、
 前記プラズマ生成部のインピーダンスを測定するインピーダンス測定器と、
 前記インピーダンス測定器により測定されたインピーダンスの値に応じてプラズマの活性種生成量を判断する判断部と、
 前記判断部により判断された前記活性種生成量に応じて前記高周波電源を制御する制御部と、
 を有する基板処理装置。

【請求項 2】

前記制御部は、前記インピーダンスの値と予め記憶された設定値とを比較して、前記プラズマ生成部が所定のインピーダンスを維持するように前記高周波電源の電力値または周波数値を制御する請求項 1 に記載の基板処理装置。

【請求項 3】

前記制御部は、前記インピーダンスの値に応じて、前記高周波電源の電力値または周波数値を制御して、前記プラズマ生成部から生成される前記プラズマの活性種生成量を制御する請求項 1 に記載の基板処理装置。

10

20

【請求項 4】

前記インピーダンスの値は、リアクタンス値を含み、
前記制御部は、前記リアクタンス値と予め記憶された設定値とを比較して、前記リアクタンス値が、前記設定値の所定範囲内にある場合に、前記活性種生成量が適正であると判断する請求項 1 に記載の基板処理装置。

【請求項 5】

基板を処理室内に搬入する工程と、
前記処理室内にガスを供給する工程と、
高周波電源に接続される電極を有するプラズマ生成部のインピーダンスを測定する工程と、
測定されたインピーダンスの値に応じてプラズマの活性種生成量を判断する工程と、
判断された前記活性種生成量に応じて前記高周波電源を制御して、前記処理室内に供給された前記ガスをプラズマ化して活性化させる工程と、
プラズマ化して活性化させた前記ガスを前記基板に対して供給する工程と、
を有する半導体装置の製造方法。

10

【請求項 6】

前記活性化させる工程では、前記インピーダンスの値と予め記憶された設定値とを比較して、前記プラズマ生成部が所定のインピーダンスを維持するように前記高周波電源の電力値または周波数値を制御する請求項 5 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 7】

前記活性化させる工程では、前記インピーダンスの値に応じて、前記高周波電源の電力値または周波数値を制御して、前記プラズマ生成部から発生される前記プラズマの活性種生成量を制御する請求項 5 に記載の半導体装置の製造方法。

20

【請求項 8】

基板を基板処理装置の処理室内に搬入するステップと、
前記処理室内にガスを供給するステップと、
高周波電源に接続される電極を有するプラズマ生成部のインピーダンスを測定するステップと、
測定されたインピーダンスの値に応じてプラズマの活性種生成量を判断するステップと、
判断された前記活性種生成量に応じて前記高周波電源を制御して、前記処理室内に供給された前記ガスをプラズマ化して活性化させるステップと、
プラズマ化して活性化させた前記ガスを前記基板に対して供給するステップと、
をコンピュータにより前記基板処理装置に実行させるプログラム。

30

【請求項 9】

前記活性化させるステップでは、前記インピーダンスの値と予め記憶された設定値とを比較して、前記プラズマ生成部が所定のインピーダンスを維持するように前記高周波電源の電力値または周波数値を制御する請求項 8 に記載のプログラム。

【請求項 10】

前記活性化させるステップでは、前記インピーダンスの値に応じて、前記高周波電源の電力値または周波数値を制御して、前記プラズマ生成部から発生される前記プラズマの活性種生成量を制御する請求項 8 に記載のプログラム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基板処理装置、半導体装置の製造方法及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

半導体装置製造工程の 1 つに、基板処理装置の処理室内に基板を搬入し、処理室内に供給した原料ガスと反応ガスなどにプラズマを用いて活性化させ、基板上に絶縁膜や半導体

50

膜、導体膜等の各種膜を形成したり、各種膜を除去したりする基板処理が行われることがある。プラズマは、堆積する薄膜の反応を促進したり、薄膜から不純物を除去したり、あるいは成膜原料の化学反応を補助したりする為などに用いられる（例えば、特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2015-92637号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0004】

しかしながら、経年変化や予期せぬ原因によるプラズマ電極の劣化が生じると、プラズマにより生成されるイオンやラジカルなどの活性種の生成量や分布にばらつきが生じたり、プラズマ生成部からアーク放電等の異常放電が生じてしまい、均一に膜を処理することが困難となってしまう場合がある。

【0005】

本発明の目的は、基板を均一に処理することが可能な技術を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一態様によれば、
基板を処理する処理室と、
前記処理室内へガスを供給するガス供給部と、
高周波電源に接続される電極を有し、前記処理室内に供給されたガスをプラズマ化させることにより活性化させるプラズマ生成部と、
前記プラズマ生成部のインピーダンスを測定するインピーダンス測定器と、
前記インピーダンス測定器により測定されたインピーダンスの値に応じてプラズマの活性種生成量を判断する判断部と、
前記判断部により判断された活性種生成量に応じて前記高周波電源を制御する制御部と、

20

を有する技術が提供される。

30

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、基板を均一に処理することが可能な技術を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本発明の実施形態で好適に用いられる基板処理装置の縦型処理炉の概略構成図であり、処理炉部分を縦断面図で示す図である。

【図2】本発明の実施形態で好適に用いられる基板処理装置の縦型処理炉の概略構成図であり、処理炉部分を図1のA-A線断面図で示す図である。

40

【図3】本発明の実施形態で好適に用いられる基板処理装置のコントローラの概略構成図であり、コントローラの制御系をブロック図で示す図である。

【図4】本発明の実施形態に係る基板処理工程のフローチャートである。

【図5】本発明の実施形態に係る基板処理工程におけるガス供給のタイミングを示す図である。

【図6】本発明の実施形態に係る基板処理装置のインピーダンス制御の機能構成を示すブロック図である。

【図7】本発明の実施形態で好適に用いられる基板処理装置の縦型処理炉の変形例を説明するための概略横断面図である。

【図8】本発明の実施形態に係る基板処理装置の変形例の基板処理工程におけるガス供給

50

のタイミングを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

＜本発明の実施形態＞

以下、本発明の一実施形態について図1から図6を参照しながら説明する。

【0010】

(1) 基板処理装置の構成

(加熱装置)

図1に示すように、処理炉202は基板を垂直方向多段に収容することが可能な、いわゆる縦型炉であり、加熱装置（加熱機構）としてのヒータ207を有する。ヒータ207は円筒形状であり、保持板としてのヒータベース（図示せず）に支持されることにより垂直に据え付けられている。ヒータ207は、後述するようにガスを熱で活性化（励起）させる活性化機構（励起部）としても機能する。

【0011】

(処理室)

ヒータ207の内側には、ヒータ207と同心円状に反応管203が配設されている。反応管203は、例えば石英（ SiO_2 ）または炭化シリコン（ SiC ）等の耐熱性材料からなり、上端が閉塞し下端が開口した円筒形状に形成されている。反応管203の下方には、反応管203と同心円状に、マニホールド（インレットフランジ）209が配設されている。マニホールド209は、例えばステンレス（ SUS ）等の金属からなり、上端および下端が開口した円筒形状に形成されている。マニホールド209の上端部は、反応管203の下端部に係合しており、反応管203を支持するように構成されている。マニホールド209と反応管203との間には、シール部材としてのリング220aが設けられている。マニホールド209がヒータベースに支持されることにより、反応管203は垂直に据え付けられた状態となる。主に、反応管203とマニホールド209とにより処理容器（反応容器）が構成されている。処理容器の内側である筒中空部には処理室201が形成されている。処理室201は、複数枚の基板としてのウエハ200を収容可能に構成されている。なお、処理容器は上記の構成に限らず、反応管203のみを処理容器と称する場合もある。

【0012】

処理室201内には、ノズル249a、249bが、マニホールド209の側壁を貫通するように設けられている。ノズル249a、249bには、ガス供給管232a、232bが、それぞれ接続されている。このように、反応管203には2本のノズル249a、249bと、2本のガス供給管232a、232bとが設けられており、処理室201内へ複数種類のガスを供給することが可能となっている。なお、マニホールド209を設置せず、反応管203のみを処理容器とした場合、ノズル249a、249bは反応管203の側壁を貫通するように設けられていてもよい。

【0013】

ガス供給管232a、232bには、ガス流の上流側から順に、流量制御器（流量制御部）であるマスフローコントローラ（ MFC ）241a、241bおよび開閉弁であるバルブ243a、243bがそれぞれ設けられている。ガス供給管232a、232bのバルブ243a、243bよりも下流側には、不活性ガスを供給するガス供給管232c、232dがそれぞれ接続されている。ガス供給管232c、232dには、ガス流の上流側から順に、 MFC 241c、241dおよびバルブ243c、243dがそれぞれ設けられている。

【0014】

ノズル249aは、図2に示すように、反応管203の内壁とウエハ200との間における空間に、反応管203の内壁の下部より上部に沿って、ウエハ200の積載方向上方に向かって立ち上がるように設けられている。すなわち、ノズル249aは、ウエハ200が配列（載置）されるウエハ配列領域（載置領域）の側方の、ウエハ配列領域を水平に

取り囲む領域に、ウエハ配列領域に沿うように設けられている。すなわち、ノズル249aは、処理室201内へ搬入された各ウエハ200の端部（周縁部）の側方にウエハ200の表面（平坦面）と垂直となる方向に設けられている。ノズル249aの側面には、ガスを供給するガス供給孔250aが設けられている。ガス供給孔250aは、反応管203の中心を向くように開口しており、ウエハ200に向けてガスを供給することが可能となっている。ガス供給孔250aは、反応管203の下部から上部にわたって複数設けられ、それぞれが同一の開口面積を有し、更に同じ開口ピッチで設けられている。

【0015】

ノズル249bは、ガス分散空間であるバッファ室237内に設けられている。バッファ室237は、図2に示すように、反応管203の内壁とウエハ200との間における平面視において円環状の空間に、また、反応管203の内壁の下部より上部にわたる部分に、ウエハ200の積載方向に沿って設けられている。すなわち、バッファ室237は、ウエハ配列領域の側方のウエハ配列領域を水平に取り囲む領域に、ウエハ配列領域に沿うようにバッファ構造300によって形成されている。バッファ構造300は、石英などの絶縁物によって構成されており、バッファ構造300の円弧状に形成された壁面には、ガスを供給するガス供給口302、304が形成されている。ガス供給口302、304は、図2に示すように、後述する棒状電極269、270間、棒状電極270、271間のプラズマ生成領域224a、224bに対向する位置にそれぞれ反応管203の中心を向くように開口しており、ウエハ200に向けてガスを供給することが可能となっている。ガス供給口302、304は、反応管203の下部から上部にわたって複数設けられ、それぞれが同一の開口面積を有し、更に同じ開口ピッチで設けられている。

【0016】

ノズル249bは、反応管203の内壁の下部より上部に沿って、ウエハ200の積載方向上方に向かって立ち上がるように設けられている。すなわち、ノズル249bは、バッファ構造300の内側であって、ウエハ200が配列されるウエハ配列領域の側方の、ウエハ配列領域を水平に取り囲む領域に、ウエハ配列領域に沿うように設けられている。すなわち、ノズル249bは、処理室201内へ搬入されたウエハ200の端部の側方にウエハ200の表面と垂直となる方向に設けられている。ノズル249bの側面には、ガスを供給するガス供給孔250bが設けられている。ガス供給孔250bは、バッファ構造300の円弧状に形成された壁面に対して径方向に形成された壁面に向くように開口しており、壁面に向けてガスを供給することが可能となっている。これにより、反応ガスがバッファ室237内で分散され、棒状電極269～271に直接吹き付けることがなくなり、パーティクルの発生が抑制される。ガス供給孔250bは、ガス供給孔250aと同様に、反応管203の下部から上部にわたって複数設けられている。

【0017】

ガス供給管232aからは、所定元素を含む原料として、例えば、所定元素としてのシリコン（Si）を含むシラン原料ガスが、MFC241a、バルブ243a、ノズル249aを介して処理室201内へ供給される。

【0018】

シラン原料ガスとしては、例えば、Siおよびハロゲン元素を含む原料ガス、すなわち、ハロシラン原料ガスを用いることができる。ハロシラン原料とは、ハロゲン基を有するシラン原料のことである。ハロゲン元素は、塩素（Cl）、フッ素（F）、臭素（Br）、ヨウ素（I）からなる群より選択される少なくとも1つを含む。

【0019】

ハロシラン原料ガスとしては、例えば、SiおよびClを含む原料ガス、すなわち、クロロシラン原料ガスを用いることができる。クロロシラン原料ガスとしては、例えば、ジクロロシラン（ SiH_2Cl_2 、略称：DCS）ガスを用いることができる。

【0020】

ガス供給管232bからは、上述の所定元素とは異なる元素を含むリアクタント（反応体）として、例えば、反応ガスとしての窒素（N）含有ガスが、MFC241b、バルブ

243b、ノズル249bを介して処理室201内へ供給されるように構成されている。N含有ガスとしては、例えば、窒化水素系ガスを用いることができる。窒化水素系ガスは、NおよびHの2元素のみで構成される物質ともいえ、窒化ガス、すなわち、Nソースとして作用する。窒化水素系ガスとしては、例えば、アンモニア(NH_3)ガスを用いることができる。

【0021】

ガス供給管232c、232dからは、不活性ガスとして、例えば、窒素(N_2)ガスが、それぞれMFC241c、241d、バルブ243c、243d、ガス供給管232a、232b、ノズル249a、249bを介して処理室201内へ供給される。

【0022】

主に、ガス供給管232a、MFC241a、バルブ243aにより、第1のガス供給系としての原料供給系が構成される。主に、ガス供給管232b、MFC241b、バルブ243bにより、第2のガス供給系としての反応体供給系(リアクタント供給系)が構成される。主に、ガス供給管232c、232d、MFC241c、241d、バルブ243c、243dにより、不活性ガス供給系が構成される。原料供給系、反応体供給系および不活性ガス供給系を総称して単にガス供給系(ガス供給部)とも称する。

【0023】

(プラズマ生成部)

バッファ室237内には、図2に示すように、導電体からなり、細長い構造を有する3本の棒状電極269、270、271が、反応管203の下部より上部にわたりウェハ200の配列方向に沿って配設されている。棒状電極269、270、271のそれぞれは、ノズル249bと平行に設けられている。棒状電極269、270、271のそれぞれは、上部より下部にわたって電極保護管275により覆われることで保護されている。棒状電極269、270、271のうち両端に配置される棒状電極269、271は、整合器272とインピーダンス測定器274を介して高周波電源273に接続されている。棒状電極270は、基準電位であるアースに接続され、接地されている。すなわち、高周波電源273に接続される棒状電極と、接地される棒状電極と、が交互に配置され、高周波電源273に接続された棒状電極269、271の間に配置された棒状電極270は、接地された棒状電極として、棒状電極269、271に対して共通して用いられている。換言すると、接地された棒状電極270は、隣り合う高周波電源273に接続された棒状電極269、271に挟まれるように配置され、棒状電極269と棒状電極270、同じく、棒状電極271と棒状電極270がそれぞれ対となるように構成されてプラズマを生成する。つまり、接地された棒状電極270は、棒状電極270に隣り合う2本の高周波電源273に接続された棒状電極269、271に対して共通して用いられている。そして、高周波電源273から棒状電極269、271に高周波(RF)電力を印加することで、棒状電極269、270間のプラズマ生成領域224a、棒状電極270、271間のプラズマ生成領域224bにプラズマが生成される。

【0024】

インピーダンス測定器274は、整合器272と高周波電源273の間に設けられている。インピーダンス測定器274は、高周波の進行波と反射波を測定し、整合器272により棒状電極269、271における負荷インピーダンスや高周波の反射状態を測定する。すなわち、インピーダンス測定器274が高周波の進行波と反射波を測定し、測定した値をコントローラ121にフィードバックしてコントローラ121が高周波電源273を制御することで、プラズマ生成領域224a、224bに生成されるプラズマ生成量が制御される。

【0025】

インピーダンス測定器274により測定される情報には、高周波の進行波に対する反射波の電圧比または電力比、高周波の進行波に対する反射波の位相差、若しくはこれら電圧比または電力比と位相差から算出されるレジスタンス、リアクタンス、コンダクタンス、サセプタンス、インピーダンス及びアドミタンス等の少なくとも1つが含まれている。

10

20

30

40

50

【0026】

棒状電極269とインピーダンス測定器274の間には、スイッチ276aが設けられている。また、棒状電極271とインピーダンス測定器274の間には、スイッチ276bが設けられている。このように棒状電極269とインピーダンス測定器274の間にスイッチ276aを設け、棒状電極271とインピーダンス測定器274の間にスイッチ276bを設けることで、劣化や断線、短絡等の異常を生じさせている電極を特定することが可能となる。

【0027】

主に、棒状電極269、270、271、整合器272によりプラズマ生成領域224a、224bにプラズマを生成するプラズマ生成部が構成される。電極保護管275、スイッチ276a、276b、高周波電源273、インピーダンス測定器274をプラズマ生成部に含めて考えてもよい。プラズマ生成部は、後述するように、ガスをプラズマ励起、すなわち、プラズマ状態に励起（活性化）させるプラズマ励起部（活性化機構）として機能する。

【0028】

電極保護管275は、棒状電極269、270、271のそれぞれをバッファ室237内の雰囲気と隔離した状態でバッファ室237内へ挿入できる構造となっている。電極保護管275の内部の O_2 濃度が外気（大気）の O_2 濃度と同程度であると、電極保護管275内へそれぞれ挿入された棒状電極269、270、271は、ヒータ207による熱で酸化されてしまう。このため、電極保護管275の内部に N_2 ガス等の不活性ガスを充填しておくか、不活性ガスパージ機構を用いて電極保護管275の内部を N_2 ガス等の不活性ガスでパージすることで、電極保護管275の内部の O_2 濃度を低減させ、棒状電極269、270、271の酸化を防止することができる。

【0029】

（排気部）

反応管203には、処理室201内の雰囲気を排気する排気管231が設けられている。排気管231には、処理室201内の圧力を検出する圧力検出器（圧力検出部）としての圧力センサ245および排気バルブ（圧力調整部）としてのAPC（Auto Pressure Controller）バルブ244を介して、真空排気装置としての真空ポンプ246が接続されている。APCバルブ244は、真空ポンプ246を作動させた状態で弁を開閉することで、処理室201内の真空排気および真空排気停止を行うことができ、更に、真空ポンプ246を作動させた状態で、圧力センサ245により検出された圧力情報に基づいて弁開度を調節することで、処理室201内の圧力を調整することができるように構成されているバルブである。主に、排気管231、APCバルブ244、圧力センサ245により、排気系が構成される。真空ポンプ246を排気系に含めて考えてもよい。排気管231は、反応管203に設ける場合に限らず、ノズル249a、249bと同様にマニホールド209に設けてもよい。

【0030】

マニホールド209の下方には、マニホールド209の下端開口を気密に閉塞可能な炉口蓋体としてのシールキャップ219が設けられている。シールキャップ219は、マニホールド209の下端に垂直方向下側から当接されるように構成されている。シールキャップ219は、例えばSUS等の金属からなり、円盤状に形成されている。シールキャップ219の上面には、マニホールド209の下端と当接するシール部材としてのOリング220bが設けられている。シールキャップ219の処理室201と反対側には、後述するポート217を回転させる回転機構267が設置されている。回転機構267の回転軸255は、シールキャップ219を貫通してポート217に接続されている。回転機構267は、ポート217を回転させることでウエハ200を回転させるように構成されている。シールキャップ219は、反応管203の外部に垂直に設置された昇降機構としてのポートエレベータ115によって垂直方向に昇降されるように構成されている。ポートエレベータ115は、シールキャップ219を昇降させることで、ポート217を処理室2

10

20

30

40

50

01内外に搬入および搬出することが可能なように構成されている。ボートエレベータ115は、ボート217すなわちウエハ200を、処理室201内外に搬送する搬送装置（搬送機構）として構成されている。また、マニホールド209の下方には、ボートエレベータ115によりシールキャップ219を降下させている間、マニホールド209の下端開口を気密に閉塞可能な炉口蓋体としてのシャッタ219sが設けられている。シャッタ219sは、例えばSUS等の金属により構成され、円盤状に形成されている。シャッタ219sの上面には、マニホールド209の下端と当接するシール部材としてのリング220cが設けられている。シャッタ219sの開閉動作（昇降動作や回動動作等）は、シャッタ開閉機構115sにより制御される。

【0031】

（基板支持具）

図1に示すように基板支持具としてのボート217は、1枚または複数枚、例えば25～200枚のウエハ200を、水平姿勢で、かつ、互いに中心を揃えた状態で垂直方向に整列させて多段に支持するように、すなわち、所定の間隔を空けて配列させるように構成されている。ボート217は、例えば石英やSiC等の耐熱性材料からなる。ボート217の下部には、例えば石英やSiC等の耐熱性材料からなる断熱板218が多段に支持されている。

【0032】

図2に示すように反応管203の内部には、温度検出器としての温度センサ263が設置されている。温度センサ263により検出された温度情報に基づきヒータ207への通電具合を調整することで、処理室201内の温度を所望の温度分布とする。温度センサ263は、ノズル249a、249bと同様に反応管203の内壁に沿って設けられている。

【0033】

（制御装置）

次に制御装置について図3を用いて説明する。図3に示すように、制御部（制御装置）であるコントローラ121は、CPU（Central Processing Unit）121a、RAM（Random Access Memory）121b、記憶装置121c、I/Oポート121dを備えたコンピュータとして構成されている。RAM121b、記憶装置121c、I/Oポート121dは、内部バス121eを介して、CPU121aとデータ交換可能なように構成されている。コントローラ121には、例えばタッチパネル等として構成された入出力装置122が接続されている。

【0034】

記憶装置121cは、例えばフラッシュメモリ、HDD（Hard Disk Drive）等で構成されている。記憶装置121c内には、基板処理装置の動作を制御する制御プログラムや、後述する成膜処理の手順や条件等が記載されたプロセスレシピ等が、読み出し可能に格納されている。プロセスレシピは、後述する各種処理（成膜処理）における各手順をコントローラ121に実行させ、所定の結果を得ることが出来るように組み合わせられたものであり、プログラムとして機能する。以下、プロセスレシピや制御プログラム等を総称して、単に、プログラムともいう。また、プロセスレシピを、単に、レシピともいう。本明細書においてプログラムという言葉を用いた場合は、レシピ単体のみを含む場合、制御プログラム単体のみを含む場合、または、それらの両方を含む場合がある。RAM121bは、CPU121aによって読み出されたプログラムやデータ等が一時的に保持されるメモリ領域（ワークエリア）として構成されている。

【0035】

I/Oポート121dは、上述のMFC241a～241d、バルブ243a～243d、圧力センサ245、APCバルブ244、真空ポンプ246、ヒータ207、温度センサ263、整合器272、高周波電源273、インピーダンス測定器274、スイッチ276a、276b、回転機構267、ボートエレベータ115、シャッタ開閉機構115s等に接続されている。

10

20

30

40

50

【0036】

CPU121aは、記憶装置121cから制御プログラムを読み出して実行すると共に、入出力装置122からの操作コマンドの入力等に応じて記憶装置121cからレシピを読み出すように構成されている。CPU121aは、読み出したレシピの内容に沿うように、回転機構267の制御、MFC241a～241dによる各種ガスの流量調整動作、バルブ243a～243dの開閉動作、インピーダンス測定器274によるインピーダンス監視に基づく高周波電源273の調整動作、スイッチ276a、276bの切換動作、APCバルブ244の開閉動作および圧力センサ245に基づくAPCバルブ244による圧力調整動作、真空ポンプ246の起動および停止、温度センサ263に基づくヒータ207の温度調整動作、回転機構267によるポート217の正逆回転、回転角度および回転速度調節動作、ポートエレベータ115によるポート217の昇降動作等を制御するように構成されている。

10

【0037】

コントローラ121は、外部記憶装置（例えば、ハードディスク等の磁気ディスク、CD等の光ディスク、MO等の光磁気ディスク、USBメモリ等の半導体メモリ）123に格納された上述のプログラムを、コンピュータにインストールすることにより構成することができる。記憶装置121cや外部記憶装置123は、コンピュータ読み取り可能な記録媒体として構成されている。以下、これらを総称して、単に、記録媒体ともいう。本明細書において記録媒体という言葉を用いた場合は、記憶装置121c単体のみを含む場合、外部記憶装置123単体のみを含む場合、または、それらの両方を含む場合がある。なお、コンピュータへのプログラムの提供は、外部記憶装置123を用いず、インターネットや専用回線等の通信手段を用いて行ってもよい。

20

【0038】

(2) 基板処理工程

次に、基板処理装置100を使用して、半導体装置の製造工程の一工程として、ウエハ200上に薄膜を形成する工程について、図4及び図5を参照しながら説明する。以下の説明において、基板処理装置を構成する各部の動作はコントローラ121により制御される。

【0039】

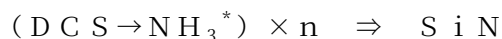
ここでは、原料ガスとしてDCSガスを供給するステップと、反応ガスとしてプラズマ励起させたNH₃ガスを供給するステップとを非同時に、すなわち同期させることなく所定回数（1回以上）行うことで、ウエハ200上に、SiおよびNを含む膜として、シリコン窒化膜（SiN膜）を形成する例について説明する。また、例えば、ウエハ200上には、予め所定の膜が形成されていてもよい。また、ウエハ200または所定の膜には予め所定のパターンが形成されていてもよい。

30

【0040】

本明細書では、図5に示す成膜処理のプロセスフローを、便宜上、以下のように示すこともある。以下の他の実施形態の説明においても、同様の表記を用いることとする。

【0041】



40

【0042】

本明細書において「ウエハ」という言葉を用いた場合は、ウエハそのものを意味する場合や、ウエハとその表面に形成された所定の層や膜との積層体を意味する場合がある。本明細書において「ウエハの表面」という言葉を用いた場合は、ウエハそのものの表面を意味する場合や、ウエハ上に形成された所定の層等の表面を意味する場合がある。本明細書において「ウエハ上に所定の層を形成する」と記載した場合は、ウエハそのものの表面上に所定の層を直接形成することを意味する場合や、ウエハ上に形成されている層等の上に所定の層を形成することを意味する場合がある。本明細書において「基板」という言葉を用いた場合も、「ウエハ」という言葉を用いた場合と同義である。

【0043】

50

(搬入ステップ：S1)

複数枚のウエハ200がポート217に装填（ウエハチャージ）されると、シャッタ開閉機構115sによりシャッタ219sが移動させられて、マニホールド209の下端開口が開放される（シャッタオープン）。その後、図1に示すように、複数枚のウエハ200を支持したポート217は、ポートエレベータ115によって持ち上げられて処理室201内へ搬入（ポートロード）される。この状態で、シールキャップ219は、Oリング220bを介してマニホールド209の下端をシールした状態となる。

【0044】

(圧力・温度調整ステップ：S2)

処理室201の内部、すなわち、ウエハ200が存在する空間が所望の圧力（真空度）となるように、真空ポンプ246によって真空排気（減圧排気）される。この際、処理室201内の圧力は圧力センサ245で測定され、この測定された圧力情報に基づきAPCバルブ244がフィードバック制御される。また、処理室201内のウエハ200が所望の温度となるようにヒータ207によって加熱される。この際、処理室201内が所望の温度分布となるように、温度センサ263が検出した温度情報に基づきヒータ207への通電具合がフィードバック制御される。続いて、回転機構267によるポート217およびウエハ200の回転を開始する。処理室201内の排気、ウエハ200の加熱および回転は、いずれも、少なくともウエハ200に対する処理が終了するまでの間は継続して行われる。

【0045】

(成膜ステップ：S3, S4, S5, S6)

その後、ステップS3, S4, S5, S6を順次実行することで成膜ステップを行う。

【0046】

(原料ガス供給ステップ：S3, S4)

ステップS3では、処理室201内のウエハ200に対してDCSガスを供給する。

【0047】

バルブ243aを開き、ガス供給管232a内へDCSガスを流す。DCSガスは、MFC241aにより流量調整され、ノズル249aを介してガス供給孔250aから処理室201内へ供給され、排気管231から排気される。このとき同時にバルブ243cを開き、ガス供給管232c内へN₂ガスを流してもよい。N₂ガスは、MFC241cにより流量調整され、DCSガスと一緒に処理室201内へ供給され、排気管231から排気される。

【0048】

また、ノズル249b内へのDCSガスの侵入を抑制するため、バルブ243dを開き、ガス供給管232d内へN₂ガスを流してもよい。N₂ガスは、ガス供給管232b、ノズル249bを介して処理室201内へ供給され、排気管231から排気される。

【0049】

MFC241aで制御するDCSガスの供給流量は、例えば1sccm以上、6000sccm以下、好ましくは2000sccm以上、3000sccm以下の範囲内の流量とする。MFC241c, 241dで制御するN₂ガスの供給流量は、それぞれ例えば100sccm以上、10000sccm以下の範囲内の流量とする。処理室201内の圧力は、例えば1Pa以上、2666Pa以下、好ましくは665Pa以上、1333Paの範囲内の圧力とする。DCSガスの供給時間は、例えば1秒以上、10秒以下、好ましくは1秒以上、3秒以下の範囲内の時間とする。

【0050】

ヒータ207の温度は、ウエハ200の温度が、例えば0℃以上700℃以下、好ましくは室温（25℃）以上550℃以下、より好ましくは40℃以上500℃以下の範囲内の温度となるような温度に設定する。本実施形態のように、ウエハ200の温度を700℃以下、さらには550℃以下、さらには500℃以下とすることで、ウエハ200に加わる熱量を低減させることができ、ウエハ200が受ける熱履歴の制御を良好に行うこと

10

20

30

40

50

ができる。

【0051】

上述の条件下でウエハ200に対してDCSガスを供給することにより、ウエハ200（表面の下地膜）上に、Clを含むSi含有層が形成される。Clを含むSi含有層はClを含むSi層であってもよいし、DCSの吸着層であってもよいし、それらの両方を含んでいてもよい。以下、Clを含むSi含有層を、単にSi含有層とも称する。

【0052】

Si含有層が形成された後、バルブ243aを閉じ、処理室201内へのDCSガスの供給を停止する。このとき、APCバルブ244を開いたままとし、真空ポンプ246により処理室201内を真空排気し、処理室201内に残留する未反応もしくはSi含有層の形成に寄与した後のDCSガスや反応副生成物等を処理室201内から排除する（S4）。また、バルブ243c、243dは開いたままとして、処理室201内へのN₂ガスの供給を維持する。N₂ガスはパージガスとして作用する。なお、このステップS4を省略してもよい。

【0053】

原料ガスとしては、DCSガスのほか、テトラキスジメチルアミノシランガス、トリシジメチルアミノシランガス、ビスジメチルアミノシランガス、ビスジエチルアミノシランガス、ビスターシャリーブチルアミノシランガス、ジメチルアミノシランガス、ジエチルアミノシランガス、ジプロピルアミノシランガス、ジイソプロピルアミノシランガス、ブチルアミノシランガス、ヘキサメチルジシラザンガス等の各種アミノシラン原料ガスや、モノクロロシランガス、トリクロロシランガス、テトラクロロシランガス、ヘキサクロロジシランガス、オクタクロロトリシランガス等の無機系ハロシラン原料ガスや、モノシランガス、ジシランガス、トリシランガス等のハロゲン基非含有の無機系シラン原料ガスを好適に用いることができる。

【0054】

不活性ガスとしては、N₂ガスの他、Arガス、Heガス、Neガス、Xeガス等の希ガスを用いることができる。

【0055】

（反応ガス供給ステップ：S5、S6）

成膜処理が終了した後、処理室201内のウエハ200に対して反応ガスとしてのプラズマ励起させたNH₃ガスを供給する（S5）。

【0056】

このステップでは、バルブ243b～243dの開閉制御を、ステップS3におけるバルブ243a、243c、243dの開閉制御と同様の手順で行う。NH₃ガスは、MFC241bにより流量調整され、ノズル249bを介してバッファ室237内へ供給される。このとき、棒状電極269、270、271間に高周波電力を供給する。バッファ室237内へ供給されたNH₃ガスはプラズマ状態に励起され（プラズマ化して活性化され）、活性種（NH₃^{*}）として処理室201内へ供給され、排気管231から排気される。

【0057】

MFC241bで制御するNH₃ガスの供給流量は、例えば100sccm以上、1000sccm以下、好ましくは1000sccm以上、2000sccm以下の範囲内の流量とする。棒状電極269、270、271に印加する高周波電力は、例えば50W以上、600W以下の範囲内の電力とする。処理室201内の圧力は、例えば1Pa以上、500Pa以下の範囲内の圧力とする。プラズマを用いることで、処理室201内の圧力をこのような比較的低い圧力帯としても、NH₃ガスを活性化させることが可能となる。NH₃ガスをプラズマ励起することにより得られた活性種をウエハ200に対して供給する時間、すなわち、ガス供給時間（照射時間）は、例えば1秒以上、180秒以下、好ましくは1秒以上、60秒以下の範囲内の時間とする。その他の処理条件は、上述のS3と同様な処理条件とする。

【0058】

上述の条件下でウェハ200に対してNH₃ガスを供給することにより、ウェハ200上に形成されたSi含有層がプラズマ窒化される。この際、プラズマ励起されたNH₃ガスのエネルギーにより、Si含有層が有するSi-Cl結合、Si-H結合が切断される。Siとの結合を切り離されたCl、Hは、Si含有層から脱離することとなる。そして、Cl等が脱離することで未結合手（ダングリングボンド）を有することとなったSi含有層中のSiが、NH₃ガスに含まれるNと結合し、Si-N結合が形成されることとなる。この反応が進行することにより、Si含有層は、SiおよびNを含む層、すなわち、シリコン窒化層（SiN層）へと変化させられる（改質される）。

【0059】

なお、Si含有層をSiN層へと改質させるには、NH₃ガスをプラズマ励起させて供給する必要がある。NH₃ガスをノンプラズマの雰囲気下で供給しても、上述の温度帯では、Si含有層を窒化させるのに必要なエネルギーが不足しており、Si含有層からClやHを十分に脱離させたり、Si含有層を十分に窒化させてSi-N結合を増加させたりすることは、困難なためである。

【0060】

そして、バッファ室237内へ供給されたNH₃ガスはプラズマ状態に励起され（プラズマ化して活性化され）、活性種（NH₃^{*}）として処理室201内へ供給され、排気管231から排気される。

【0061】

Si含有層をSiN層へ変化させた後、バルブ243bを閉じ、NH₃ガスの供給を停止する。また、棒状電極269、270、271間への高周波電力の供給を停止する。そして、ステップS4と同様の処理手順、処理条件により、処理室201内に残留するNH₃ガスや反応副生成物を処理室201内から排除する（S6）。なお、このステップS6を省略してもよい。

【0062】

窒化剤、すなわち、プラズマ励起させるNH₃含有ガスとしては、NH₃ガスの他、ジアゼン（N₂H₂）ガス、ヒドラジン（N₂H₄）ガス、N₃H₈ガス等を用いてもよい。

【0063】

不活性ガスとしては、N₂ガスの他、例えば、ステップS4で例示した各種希ガスを用いることができる。

【0064】

（所定回数実施：S7）

上述したS3、S4、S5、S6をこの順番に沿って非同時に、すなわち、同期させることなく行うことを1サイクルとし、このサイクルを所定回数（n回）、すなわち、1回以上行う（S7）ことにより、ウェハ200上に、所定組成および所定膜厚のSiN膜を形成することができる。上述のサイクルは、複数回繰り返すことが好ましい。すなわち、1サイクルあたりに形成されるSiN層の厚さを所望の膜厚よりも小さくし、SiN層を積層することで形成されるSiN膜の膜厚が所望の膜厚になるまで、上述のサイクルを複数回繰り返すことが好ましい。

【0065】

（大気圧復帰ステップ：S8）

上述の成膜処理が完了したら、ガス供給管232c、232dのそれぞれから不活性ガスとしてのN₂ガスを処理室201内へ供給し、排気管231から排気する。これにより、処理室201内が不活性ガスでパージされ、処理室201内に残留するガス等が処理室201内から除去される（不活性ガスパージ）。その後、処理室201内の雰囲気が不活性ガスに置換され（不活性ガス置換）、処理室201内の圧力が常圧に復帰される（S8）。

【0066】

（搬出ステップ：S9）

その後、ポートエレベータ115によりシールキャップ219が下降されて、マニホー

10

20

30

40

50

ルド209の下端が開口されるとともに、処理済のウエハ200が、ポート217に支持された状態でマニホールド209の下端から反応管203の外部に搬出（ポートアンロード）される（S9）。ポートアンロードの後、シャッタ219sが移動させられ、マニホールド209の下端開口がリング220cを介してシャッタ219sによりシールされる（シャッタクローズ）。処理済のウエハ200は、反応管203の外部に搬出された後、ポート217より取り出されることとなる（ウエハディスチャージ）。なお、ウエハディスチャージの後、処理室201内へ空のポート217を搬入するようにしてもよい。

【0067】

（3）プラズマ制御動作

次に、プラズマ処理を行うコントローラ121の動作について図6を用いて詳述する。上述したコントローラ121は、プラズマの生成を制御するプラズマ制御装置としても機能する。

【0068】

図6に示すように、少なくとも、設定データ121f、演算部121g、電源制御部121h、高周波電源273、プラズマ生成部277、インピーダンス測定器274によって、制御ループを構成している。主に、コントローラ121の設定データ121f、演算部121g、電源制御部121hを判断部と称することができる。また、高周波電源273や、プラズマ生成部277、インピーダンス測定器274を含めた制御ループを判断部と称してもよいし、コントローラ121全体を判断部と称してもよい。

【0069】

設定データ121fは、成膜工程やエッチング工程等におけるプラズマ処理において、プラズマを生成するのに適正であると設定されたインピーダンスの設定値である。インピーダンスの設定値は、抵抗値とリアクタンス値を含んでいる。設定データ121fは、記憶装置121cに記憶されている。

【0070】

演算部121gは、例えばCPU121aである。演算部121gは、記憶装置121cから読み出された設定データ121fと、インピーダンス測定器274により検出されたインピーダンスの測定値とを比較し、電源制御部121hが制御する高周波電源273の電力値や周波数値を制御する。

【0071】

電源制御部121hは、演算部121gにより比較して出力された電力値や周波数値に基づいて、高周波電源273を制御する。具体的には、電源制御部121hは、高周波電源273を制御して、棒状電極269、270、271へ供給される電力値や周波数値を制御する。これにより、プラズマ生成部277が所定のインピーダンス（設定データ121f）を維持するように調整され、プラズマ生成領域224a、224bに生成されるプラズマ生成量が制御される。

【0072】

インピーダンス測定器274は、プラズマ生成部277のプラズマ状態を検出する。具体的には、インピーダンス測定器274から負荷側のインピーダンス、すなわち、図2に示す整合器272、棒状電極269、271のインピーダンスを測定し、同軸ケーブルにおける進行波と反射波の位相差や、整合器272内部の素子インピーダンス等を除去する演算を行い、棒状電極269、271とプラズマの合成から成るインピーダンスとして出力している。ここで、図2に示すような装置構成の場合、棒状電極269、271の合成測定値、または平均測定値がインピーダンスとして測定されている。

【0073】

そして、演算部121gが、インピーダンス測定器274により測定された測定値と設定データ121fとを比較し、電源制御部121hが高周波電源273の電力値や周波数値を制御することで、プラズマ生成部277が所定のインピーダンス（設定データ121f）を維持するように制御され、バッファ室237に供給されたガスは一定の濃度のプラ

10

20

30

40

50

ズマ状態に励起される。

【0074】

ここで、インピーダンス Z を複素数で表現すると、次の式で表わされる。実数部 R は抵抗（レジスタンス）、虚数部 X はリアクタンスである。

【数1】

$$Z = R + jX$$

【0075】

棒状電極269, 270, 271と生成されたプラズマから成る電氣的な回路構成（等価回路）は、抵抗、コイル、コンデンサからなる直列回路とみなすことができるため、抵抗 R 及びリアクタンス X は次の式で表わすことができる。

【0076】

プラズマが発生していない時は、下記のようになる。

【数2】

$$R = R_0$$

【数3】

$$X = \omega L_0 - \frac{1}{\omega C_0}$$

【0077】

上記式において、 $\omega = 2\pi f$ （ f は高周波電源273の周波数）、 R_0 は電極についての抵抗、 L_0 は電極についてのインダクタンス、 C_0 は電極についてのキャパシタンスである。

【0078】

プラズマが発生している時は、下記のようになる。

【数4】

$$R = R_0 + R_p$$

【数5】

$$X = \omega L_0 - \frac{1}{\omega C_p}$$

【0079】

上記式において、 R_p はプラズマについての抵抗、 C_p はプラズマについてのキャパシタンスである。

【0080】

プラズマのキャパシタンス C_p は、プラズマシースの厚さで決まる。プラズマシースとは、プラズマがウエハや電極等に接したときにウエハや電極等の表面に形成される空間電荷層をいう。プラズマ密度が高いとプラズマシースの厚さは薄くなるため C_p は大きくなる。一方、プラズマ密度が低いとプラズマシースの厚さは厚くなるため C_p は小さくなる。そのため、プラズマが発生しているか否かは、リアクタンス X の振舞いと高周波の反射

10

20

30

40

50

の程度に基づいてコントローラ 121 において判断することができる。ここで、反射の程度は、例えば進行波と反射波の電力比または電圧比によって判断され、インピーダンス測定器 274 や高周波電源 273 で確認することができる。

【0081】

このため、インピーダンス Z のリアクタンス X がプラズマ密度に影響を及ぼしており、インピーダンス Z の測定値が高ければ、プラズマ密度が高く、活性種の生成量が多くなっているということが分かる。

【0082】

すなわち、インピーダンス測定器 274 で測定されたインピーダンス Z ($R + jX$) の値に応じて活性種の生成量を判断することができる。詳細には、インピーダンス測定器 274 で測定されたインピーダンスのリアクタンス X の値に応じて活性種の生成量を判断することができる。

10

【0083】

そして、インピーダンス測定器 274 により測定されたリアクタンス X の絶対値が、予め記憶装置 121c に記憶された設定値の所定範囲内にある場合には、活性種の生成量が適正であると判断する。また、インピーダンス測定器 274 により測定されたリアクタンス X の絶対値が予め記憶装置 121c に記憶された設定値の所定範囲内にはない場合には、活性種の生成量が適正でない、すなわち、電源制御部 121h は、活性種の生成量が少ない又は多いと判断し、高周波電源 273 の電力値や周波数値を調整する。すなわち、電源制御部 121h は、高周波電源 273 の電力値や周波数値を調整することにより、活性種の生成量を適正に維持するように制御する。

20

【0084】

また、プラズマが正常に生成されていない場合には、インピーダンスのリアクタンス X の値が非常に大きくなる。このため、コントローラ 121 は、インピーダンス測定器 274 により測定されたリアクタンス X の値が基準値 X_s よりも高い場合には、プラズマが正常に生成されていないと判断し、アラーム等により使用者に警告する。

【0085】

一方、コントローラ 121 は、インピーダンス測定器 274 により測定されたリアクタンス X の値が予め設定した設定値の所定範囲内で、高周波の位相差が所定範囲内にある場合には、プラズマが正常に生成されていると判断する。

30

【0086】

また、電極が劣化または断線していると、インピーダンスの抵抗 R の値が大きくなる。また、電極が短絡していると、インピーダンスの抵抗 R の値が小さくなる。さらに、電極が劣化または断線したり、短絡したりしていると高周波の位相差が大きくなることが分かっている。

【0087】

このため、インピーダンス測定器 274 により測定されたインピーダンスの抵抗 R の値を基準値 R_s と比較することで電極の劣化や断線、短絡を判断することができる。

【0088】

具体的には、コントローラ 121 は、インピーダンス測定器 274 により測定された抵抗 R の値が、正常にプラズマ生成されていると判断可能な範囲の最小値である抵抗 R の基準値 R_{s1} よりも低く、高周波の反射波の大きさ（電力または電圧）が所定範囲内にはない場合には、電極が短絡していると判断し、アラーム等により使用者に警告する。

40

【0089】

また、コントローラ 121 は、インピーダンス測定器 274 により測定された抵抗 R の値が、正常にプラズマ生成されていると判断可能な範囲の最大値である抵抗 R の基準値 R_{s2} よりも高く、高周波の位相差が所定範囲内にはない場合には、電極が劣化または断線していると判断し、アラーム等により使用者に警告する。

【0090】

また、コントローラ 121 は、スイッチ 276a、276b の接続を切り換えて、棒状

50

電極 269, 270 間又は棒状電極 271, 270 間に高周波電力を供給することにより、劣化、断線、短絡の原因となっている電極を特定することが可能となっている。

【0091】

すなわち、インピーダンス測定器 274 で測定されたインピーダンスのリアクタンス値や抵抗値を、それぞれの設定値や基準値と比較し、または、高周波の反射波の大きさをそれぞれの設定値や基準値と比較することにより、活性種の生成量や、プラズマの発生の有無や、プラズマの異常放電、電極の劣化や断線または短絡等を判断することができる。

【0092】

次に、実験例について詳述する。

実験例では、上述した基板処理装置 100 を用いて基板処理工程の反応ガス供給ステップ S5 において、処理室 201 の温度を室温、処理室 201 内の圧力を 66 Pa、高周波電源 273 の周波数 f を 28 MHz にして、長さ 0.6 m、直径 12 mm 程度の直流抵抗 1 Ω 未満の棒状電極 269, 270, 271 を用いて NH_3 ガスの CCP (Capacitively Coupled Plasma) モードのプラズマを生成してバッファ室 237 内へ供給した。整合器 272 は、棒状電極 269, 270, 271 と並列に接続される真空バリアブルコンデンサと棒状電極 269, 270, 271 と直列に接続されるコイルで構成されている。そして、整合器 272 と高周波電源 273 との間に同軸ケーブルにてインピーダンス測定器 274 を接続して、インピーダンスを観測した。

【0093】

実験例では、インピーダンス測定器 274 により測定されたリアクタンス X の絶対値が下記範囲内にあって、かつ高周波の反射波の大きさが入射波に対して 10% 未満の場合には、活性種の生成量が適正であり、コントローラ 121 において活性種の生成量を適正に制御可能であった。

【数 6】

$$|X| < 100 \Omega$$

【0094】

一方、インピーダンス測定器 274 により測定されたリアクタンス X の絶対値が下記範囲の場合であって、かつ高周波の反射波の大きさが 10% 未満の場合には、活性種の生成量が少ないなどの異常が生じてしまい、コントローラ 121 において活性種の生成量を適正に制御できなかったり、プラズマを正常に生成することができなかったりした。

【数 7】

$$|X| \geq 100 \Omega$$

【0095】

すなわち、上記条件において、プラズマが適正量発生するリアクタンス X の絶対値の値は下記のとおりであって、コントローラ 121 が、高周波電源 273 の電力値や周波数値を調整して、プラズマ生成部 277 のリアクタンス X の絶対値を下記の範囲内に保つように制御する。

【数 8】

$$|X| < 100 \Omega$$

【0096】

そして、インピーダンス測定器 274 により測定されたリアクタンス X の絶対値が 100 Ω 以上の場合には、活性種の生成量が適正でないと判断し、高周波電源 273 の電力値や周波数値を調整するように制御する。なお、本実験例では、活性種を安定して適正量を供給できるリアクタンスの閾値が $X = \pm 100 \Omega$ であった。

【0097】

また、インピーダンス測定器274により測定された抵抗Rの値が下記範囲にあって、かつ高周波の反射波の大きさが10%以上の場合は、電極が劣化または断線していた。

【数9】

$$R > 50\Omega$$

【0098】

また、インピーダンス測定器274により測定された抵抗Rの値が下記範囲にあって、かつ高周波の反射波の大きさが10%以上の場合は、電極が短絡していた。

10

【数10】

$$R < 5\Omega$$

【0099】

すなわち、上記条件において、インピーダンス測定器274により測定された抵抗Rの値が50Ωより大きい場合には、電極が劣化または断線していると判断し、抵抗Rの値が5Ωより小さい場合には、電極が短絡していると判断し、アラーム等により使用者に警告するようにすることができる。また、スイッチ276aとスイッチ276bの接続を切り換えて測定することにより劣化または断線若しくは短絡している電極を特定することができる。

20

【0100】

(4) 本実施形態による効果

本実施形態によれば、以下に示す1つ又は複数の効果が得られる。

(a) 本実施形態によれば、電極や、その周辺の環境が変更されても、インピーダンス測定器により負荷インピーダンスを測定し、設定値を保つように高周波電源の電力値や周波数値を調整することで、プラズマ特性を維持し、成膜特性やエッチング特性を安定化させることが可能となる。

(b) また、本実施形態によれば、プラズマ特性を維持することにより、成膜特性やエッチング特性を安定化させ、ウエハ処理に対する生産性や安定性を向上させることが可能となる。

30

(c) また、本実施形態によれば、バッファ室内に電極を3本設け、外側の電極にそれぞれスイッチを設けることで、ウエハ表面に供給する活性種の供給量を増加させつつ、電極が劣化または断線、短絡した場合に、原因となっている電極を特定することが可能となる。

【0101】

(変形例)

次に、本実施形態の変形例を図7及び図8に基づいて説明する。本変形例において、上述した実施形態と異なる部分のみ以下に説明し、同じ部分は説明を省略する。

【0102】

40

上述した実施形態では、反応管203の内壁にバッファ構造300を設け、このバッファ構造300の内側にそれぞれ電極保護管275に覆われた棒状電極269、270、271及びノズル249bを設けた構成について詳述したが、本変形例では、反応管203の内壁に、さらにバッファ構造300と同様の構成であるバッファ構造400を設ける。

【0103】

バッファ構造400の内側には、それぞれ電極保護管275に覆われた棒状電極369、370、371及びノズル249cが設けられている。棒状電極369、370、371のうち両端に配置される棒状電極369、371は、整合器372、インピーダンス測定器374を介して高周波電源373に接続され、棒状電極370は、基準電位であるアースに接続され、接地されている。ノズル249cは、ガス供給管232eに接続され、

50

改質ガスとして例えば水素 (H_2) ガスを供給する。ノズル 249c の側面には、ガスを供給するガス供給孔 250c が反応管 203 の下部から上部にわたって複数設けられている。ガス供給孔 250c は、バッファ構造 400 の円弧状に形成された壁面に対して径方向に形成された壁面に向くように開口しており、壁面に向けてガスを供給することが可能となっている。バッファ構造 400 の円弧状に形成された壁面には、バッファ室 237 内のガスを供給するガス供給口 402, 404 が設けられている。ガス供給口 402, 404 は、棒状電極 369, 370 間、棒状電極 370, 371 間のプラズマ生成領域 324a、324b に対向する位置にそれぞれ反応管 203 の中心を向くように開口し、反応管 203 の下部から上部にわたって複数設けられ、それぞれが同一の開口面積を有し、更に同じ開口ピッチで設けられている。

10

【0104】

インピーダンス測定器 374 は、整合器 372 と高周波電源 373 の間に設けられている。インピーダンス測定器 374 は、整合器 372 により負荷インピーダンスや高周波の反射状態を測定する。

【0105】

棒状電極 369 とインピーダンス測定器 374 の間には、スイッチ 376a が設けられている。また、棒状電極 371 とインピーダンス測定器 374 の間には、スイッチ 376b が設けられている。

【0106】

主に、棒状電極 269, 270, 271、整合器 272 によりプラズマ生成領域 224a, 224b にプラズマを生成する第 1 のプラズマ生成部が構成される。また、棒状電極 369, 370, 371、整合器 372 によりプラズマ生成領域 324a, 324b にプラズマを生成する第 2 のプラズマ生成部が構成される。

20

【0107】

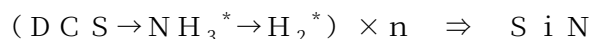
バッファ構造 300 とバッファ構造 400 は、排気管 231 を挟んで、排気管 231 と反応管 203 の中心を通る線に対して線対称に設けられている。また、ノズル 249a は、排気管 231 のウエハ 200 を挟んで対向する位置に設けられている。また、ノズル 249b とノズル 249c は、それぞれバッファ室 237 内の排気管 231 から遠い位置に設けられている。

【0108】

そして、図 8 に示すように、原料ガスとして DCS ガスを供給するステップと、反応ガスとしてプラズマ励起させた NH_3 ガスを供給するステップと、改質ガスとしてプラズマ励起させた H_2 ガスを非同時に、すなわち同期させることなく所定回数 (1 回以上) 行うことで、ウエハ 200 上に、Si および N を含む膜として、シリコン窒化膜 (SiN 膜) を形成する。

30

【0109】



【0110】

以上のように、ノズル 249b から反応ガスとして NH_3 ガスをプラズマ励起してウエハに供給した後に H_2 ガスをプラズマ励起して供給する場合にも、本発明は適用することができる。

40

【0111】

本変形例では、プラズマ生成部を備えたバッファ構造が 2 つ設けられ、各バッファ構造 300, 400 がそれぞれ高周波電源 273, 373、インピーダンス測定器 274, 374 及び整合器 272, 372 を備えている。

【0112】

インピーダンス測定器 274, 374、高周波電源 273, 373 はそれぞれコントローラ 121 に接続され、バッファ構造 300, 400 のバッファ室 237 ごとのプラズマ制御が可能となる。すなわち、コントローラ 121 は、各バッファ室 237 ごとに活性種量の偏りが生じないように、インピーダンス測定器 274, 374 によりそれぞれのプラズ

50

マ生成部のインピーダンスを監視してそれぞれの高周波電源 273, 373 を独立して制御し、インピーダンスが大きい場合には、高周波電源の電力値が高くなるように制御する。

【0113】

このため、それぞれのインピーダンス測定器 274, 374 による測定値に基づいて、高周波電源 273, 373 を制御し、相互のプラズマ生成を連係させることで、効率よく基板処理を行うことができる。

【0114】

具体的には、例えば、インピーダンス測定器 274 による NH_3 ガスのインピーダンス測定値のフィードバックに基づいて、 H_2 ガスの高周波電源 373 を制御し、インピーダンス測定器 374 による H_2 ガスのインピーダンス測定値のフィードバックに基づいて、 NH_3 ガスの高周波電源 273 を制御するようにして、第 1 のプラズマ発生部と第 2 のプラズマ発生部を相互に連携して制御することができる。

10

【0115】

また、本変形例によれば、プラズマ生成部が 1 つの場合と比較して、各プラズマ生成部の高周波電力を小さくしてもウエハに対して十分な量の活性種を供給することができ、ウエハの面内均一性を向上させることができる。また、2 つのプラズマ生成部に対して 1 つの高周波電源によってプラズマ制御を行うのに対し、プラズマ生成部ごとにインピーダンス測定器と、高周波電源を設けることによって、各プラズマ生成部に断線等の異常が生じた場合に把握し易くなる。さらに、高周波電源と各電極間の距離を調整し易くなるため、各電極と高周波電源との距離が異なることによって生じる RF 電力印加の差異を抑制し易くすることができる。

20

【0116】

以上、本発明の実施形態について具体的に説明した。しかしながら、本発明は上述の実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

例えば、上述の実施形態では、整合器 272、高周波電源 273、インピーダンス測定器 274 がそれぞれ個別部品として例示したが、これに限らず、インピーダンス測定器 274 の内部に整合器 272 または高周波電源 273 のいずれか一方、または両方を組込んだユニットとして構成されていてもよい。

【0117】

また、上述の実施形態では、2 つのバッファ構造を設けた場合に、バッファ構造ごとに異なる反応ガスをプラズマ励起してウエハに供給する構成について説明した。本発明はこのような態様に限定されず、同一の反応ガスをプラズマ励起してウエハに供給するようにしてもよい。

30

【0118】

また、上述の実施形態では、原料を供給した後に反応ガスを供給する例について説明した。本発明はこのような態様に限定されず、原料、反応ガスの供給順序は逆でもよい。すなわち、反応ガスを供給した後に原料を供給するようにしてもよい。供給順序を変えることにより、形成される膜の膜質や組成比を変化させることが可能となる。

【0119】

また、上述の実施形態では、ウエハ 200 上に SiN 膜を形成する例について説明した。本発明はこのような態様に限定されず、ウエハ 200 上に、シリコン酸化膜 (SiO 膜)、シリコン酸炭化膜 (SiOC 膜)、シリコン酸炭窒化膜 (SiOCN 膜)、シリコン酸窒化膜 (SiON 膜) 等の Si 系酸化膜を形成する場合や、ウエハ 200 上にシリコン炭窒化膜 (SiCN 膜)、シリコン硼窒化膜 (SiBN 膜)、シリコン硼炭窒化膜 (SiBCN 膜)、硼炭窒化膜 (BCN 膜) 等の Si 系窒化膜を形成する場合にも、好適に適用可能である。これらの場合、反応ガスとしては、O 含有ガスの他、 C_3H_6 等の C 含有ガスや、 NH_3 等の N 含有ガスや、 BCl_3 等の B 含有ガスを用いることができる。

40

【0120】

また、本発明は、ウエハ 200 上に、チタン (Ti)、ジルコニウム (Zr)、ハフニ

50

ウム (Hf)、タンタル (Ta)、ニオブ (Nb)、アルミニウム (Al)、モリブデン (Mo)、タングステン (W) 等の金属元素を含む酸化膜や窒化膜、すなわち、金属系酸化膜や金属系窒化膜を形成する場合においても、好適に適用可能である。すなわち、本発明は、ウエハ 200 上に、TiN 膜、TiO 膜、TiOC 膜、TiOCN 膜、TiON 膜等の金属系薄膜を形成する場合にも、好適に適用することが可能となる。

【0121】

これらの場合、例えば、原料ガスとして、テトラキス (ジメチルアミノ) チタン (Ti [N(CH₃)₂]₄、略称: TDMA T) ガス、テトラキス (エチルメチルアミノ) ハフニウム (Hf [N(C₂H₅)(CH₃)]₄、略称: TEMA H) ガス、テトラキス (エチルメチルアミノ) ジルコニウム (Zr [N(C₂H₅)(CH₃)]₄、略称: TEMA Z) ガス、トリメチルアルミニウム (Al(CH₃)₃、略称: TMA) ガス、チタニウムテトラクロライド (TiCl₄) ガス、ハフニウムテトラクロライド (HfCl₄) ガス等を用いることができる。反応ガスとしては、上述の反応ガスを用いることができる。

10

【0122】

すなわち、本発明は、半金属元素を含む半金属系膜や金属元素を含む金属系膜を形成する場合に、好適に適用することができる。これらの成膜処理の処理手順、処理条件は、上述の実施形態や変形例に示す成膜処理と同様な処理手順、処理条件とすることができる。これらの場合においても、上述の実施形態や変形例と同様の効果が得られる。

【0123】

成膜処理に用いられるレシピは、処理内容に応じて個別に用意し、電気通信回線や外部記憶装置 123 を介して記憶装置 121c 内に格納しておくことが好ましい。そして、各種処理を開始する際、CPU 121a が、記憶装置 121c 内に格納された複数のレシピの中から、処理内容に応じて適正なレシピを適宜選択することが好ましい。これにより、1 台の基板処理装置で様々な膜種、組成比、膜質、膜厚の薄膜を汎用的に、かつ、再現性よく形成することができるようになる。また、オペレータの負担を低減でき、操作ミスを回避しつつ、各種処理を迅速に開始できるようになる。

20

【0124】

上述のレシピは、新たに作成する場合に限らず、例えば、基板処理装置に既にインストールされていた既存のレシピを変更することで用意してもよい。レシピを変更する場合は、変更後のレシピを、電気通信回線や当該レシピを記録した記録媒体を介して、基板処理装置にインストールしてもよい。また、既存の基板処理装置が備える入出力装置 122 を操作し、基板処理装置に既にインストールされていた既存のレシピを直接変更するようにしてもよい。

30

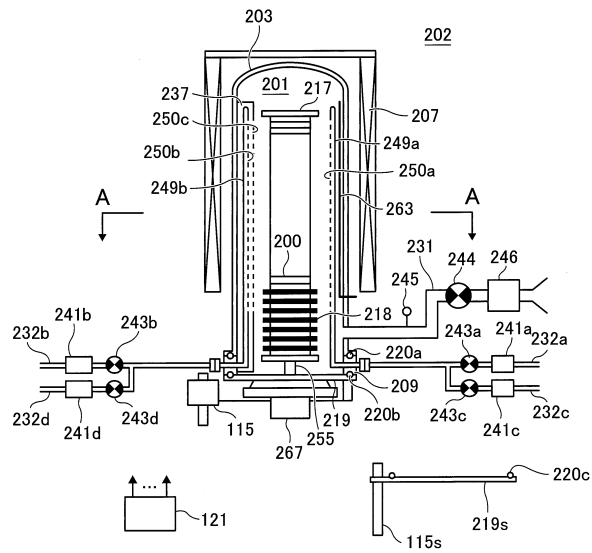
【符号の説明】

【0125】

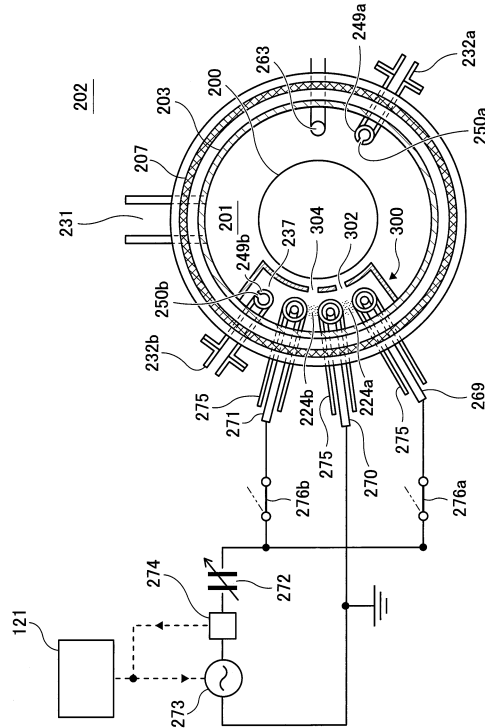
121 コントローラ
200 ウエハ
201 処理室
202 処理炉
231 排気管
237 バッファ室
249 ノズル
269～271, 369～371 棒状電極
272, 372 整合器
273, 373 高周波電源
274, 374 インピーダンス測定器
275 電極保護管
300, 400 バッファ構造
302, 304, 402, 404 ガス供給口

40

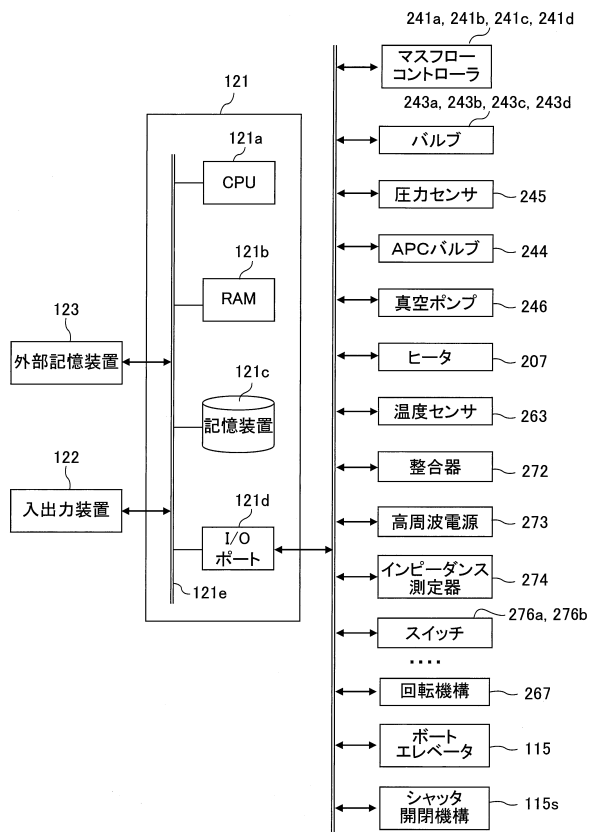
【図 1】



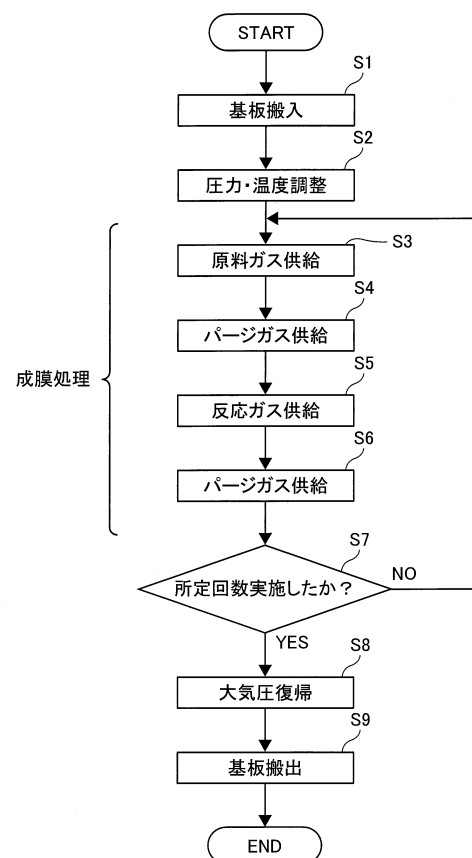
【図 2】



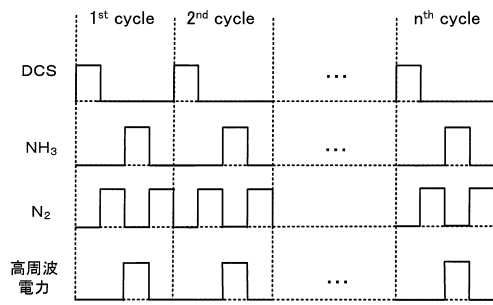
【図 3】



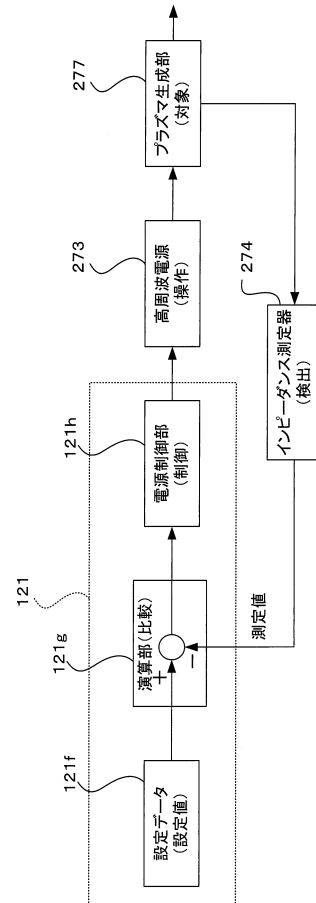
【図 4】



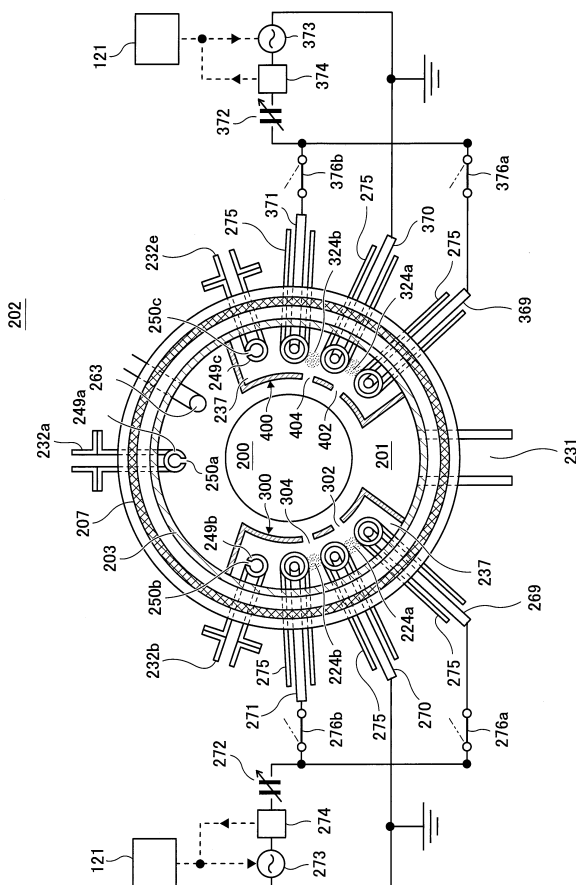
【図 5】



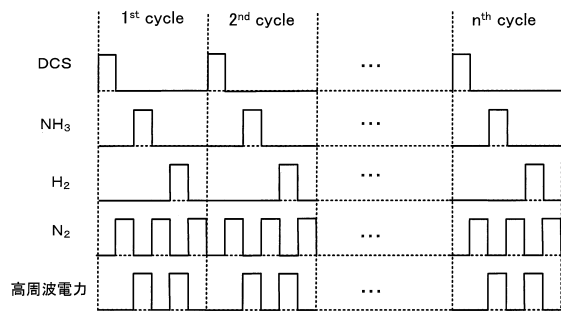
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特表2001-525618 (JP, A)
特開2005-142582 (JP, A)
特開2005-085878 (JP, A)
特開2000-123996 (JP, A)
特開2008-287999 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L	21/31
C23C	16/505
C23C	16/52
H01L	21/318
H05H	1/46