明　細　書

発明の名称 ：

基板処理装置、プラズマ生成装置、半導体装置の製造方法およびプログラム

技術分野

[0001]　本開示は、基板処理装置、プラズマ生成装置、半導体装置の製造方法およびプログラムに関する。

背景技術

[0002]　半導体装置の製造工程の一工程として、基板処理装置の処理室内に収容した基板に対して、原料ガスや反応ガスなどをプラズマにより活性化させて供給し、基板上に絶縁膜や半導体膜、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。

[0003]　微細パターンが形成される量産デバイスにおいては、不純物の拡散を抑制したり、有機材料など耐熱性の低い材料を使用できるようにしたりするために、処理温度の低温化が求められる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 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

[0005]　このような問題を解決するため、プラズマを用いて基板処理を行うことが一般的だが、複数の基板を同時に処理する場合には、プラズマやそれを介して生成される活性種が、各基板に対して同じ供給量である必要がある。バッファ室と呼ばれる空間にプラズマを閉じ込めて、孔を通して活性種を複数の基板へ供給する場合、広い空間が近傍にある基板に対しては活性種の供給不足が生じやすく、基板間で処理性能が異なることがある。

[0006] 本開示の目的は、複数の基板に対する基板処理性能のバラツキを低減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

[0007] 本開示の一態様によれば、

基板を処理する処理室とプラズマを形成するバッファ室とを有する反応管と、前記反応管を加熱する加熱装置と、を備え、前記バッファ室に、高周波電力が印加される長さが異なる少なくとも２本の印加電極と、基準電位が与えられる基準電極と、前記印加電極と前記基準電極を保護する電極保護管と、を備える技術が提供される。

発明の効果

[0008] 本開示によれば、複数の基板に対して同じ基板処理性能を同時に発揮する技術を提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本開示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で示す図である。

[図2]図１に示す基板処理装置におけるＡ－Ａ断面図である。

[図3]本開示の実施形態で好適に用いられる基板処理装置のバッファ構造を説明するための横断面拡大図である。

[図4]本開示の実施形態で好適に用いられる基板処理装置のバッファ構造を説明するための模式図である。

[図5]（ａ）は、本開示のもう一つの実施形態で好適に用いられる基板処理装置のバッファ構造を説明するための模式図であり、（ｂ）は、本開示のもう一つの実施形態で好適に用いられる基板処理装置のバッファ構造を説明するための模式図の縦断面である。

[図6]図１に示す基板処理装置における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の一例を示すブロック図である。

[図7]図１に示す基板処理装置を用いた基板処理プロセスの一例を示すフローチャートである。

[図8]本開示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１を説明するための概略横断面図である。

[図9]本開示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２を説明するための概略横断面図である。

[図10]本開示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３を説明するための概略横断面図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本開示の実施形態について図１から図５を参照しながら説明する。

（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）や炭化シリコン（ＳｉＣ）等の耐熱性材料により構成され、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）等の金属により構成され、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Ｏ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]（ガス供給部）

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、処理容器には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、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、上流方向から順に、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、上流方向から順に、ＭＦＣ２４１ｃ，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] ガス供給管２３２ｂの先端部には、ノズル２４９ｂが接続されている。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（隔壁）３００によって形成されている。バッファ構造３００は、石英またはＳｉＣ等の耐熱材料である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３０２，３０４，３０６が形成されている。ガス供給口３０２，３０４，３０６は、図２及び図３に示すように、後述する棒状電極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、棒状電極２７１とノズル２４９ｂとの間の領域において対向するその壁面の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３０２，３０４，３０６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] このように、本実施形態では、反応管２０３の側壁の内壁と、反応管２０３内に配列された複数枚のウエハ２００の端部で定義される平面視において円環状の縦長の空間内、すなわち、円筒状の空間内に配置したノズル２４９ａ，２４９ｂおよびバッファ室２３７を経由してガスを搬送している。そして、ノズル２４９ａ，２４９ｂおよびバッファ室２３７にそれぞれ開口されたガス供給孔２５０ａ，２５０ｂ，ガス供給口３０２，３０４，３０６から、ウエハ２００の近傍で初めて反応管２０３内にガスを噴出させている。そして、反応管２０３内におけるガスの主たる流れを、ウエハ２００の表面と平行な方向、すなわち、水平方向としている。このような構成とすることで、各ウエハ２００に均一にガスを供給でき、各ウエハ２００に形成される膜の膜厚の均一性を向上させることが可能となる。ウエハ２００の表面上を流れたガス、すなわち、反応後の残ガスは、排気口、すなわち、後述する排気管２３１の方向に向かって流れる。但し、この残ガスの流れの方向は、排気口の位置によって適宜特定され、垂直方向に限ったものではない。

[0018] 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。

[0019] シラン原料ガスとは、気体状態のシラン原料、例えば、常温常圧下で液体

状態であるシラン原料を気化することで得られるガスや、常温常圧下で気体状態であるシラン原料等のことである。本明細書において「原料」という言葉を用いた場合は、「液体状態である液体原料」を意味する場合、「気体状態である原料ガス」を意味する場合、または、それらの両方を意味する場合がある。

[0020] シラン原料ガスとしては、例えば、Ｓｉおよびアミノ基（アミン基）を含む原料ガス、すなわち、アミノシラン原料ガスを用いることができる。アミノシラン原料とは、アミノ基を有するシラン原料のことであり、また、メチル基やエチル基やブチル基等のアルキル基を有するシラン原料でもあり、少なくともＳｉ、窒素（Ｎ）および炭素（Ｃ）を含む原料のことである。すなわち、ここでいうアミノシラン原料は、有機系の原料ともいえ、有機アミノシラン原料ともいえる。

[0021] アミノシラン原料ガスとしては、例えば、ビスターシャリーブチルアミノシラン（$SiH_2[NH(C_4H_9)]_2$、略称：ＢＴＢＡＳ）ガスを用いることができる。ＢＴＢＡＳは、１分子中に１つのＳｉを含み、Ｓｉ－Ｎ結合、Ｎ－Ｃ結合を有し、Ｓｉ－Ｃ結合を有さない原料ガスであるともいえる。ＢＴＢＡＳガスは、Ｓｉソースとして作用する。

[0022] ＢＴＢＡＳのように常温常圧下で液体状態である液体原料を用いる場合は、液体状態の原料を気化器やバブラ等の気化システムにより気化して、シラン原料ガス（ＢＴＢＡＳガス等）として供給することとなる。

[0023] ガス供給管２３２ｂからは、原料とは化学構造が異なる反応体（リアクタント）として、例えば、酸素（Ｏ）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。

[0024] Ｏ含有ガスは、酸化剤（酸化ガス）、すなわち、Ｏソースとして作用する。Ｏ含有ガスとしては、例えば、酸素（O_2）ガスや水蒸気（H_2Oガス）等を用いることができる。酸化剤としてO_2ガスを用いる場合は、例えば、後述するプラズマ源を用いてこのガスをプラズマ励起し、励起ガス（O_2*ガス）として供給することとなる。

[0025] 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、ノズル２４９ａ，２４９ｂを介して処理室２０１内へ供給される。

[0026] 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単にガス供給系（ガス供給部）とも称する。

[0027]（基板支持具）

図１に示すように基板支持具（基板支持部）としてのボート２１７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、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等の耐熱性材料により構成される。ボート２１７の下部には、例えば石英やＳｉＣ等の耐熱性材料により構成される断熱板２１８が多段に支持されている。この構成により、ヒータ２０７からの熱がシールキャップ２１９側に伝わりにくくなっている。但し、本実施形態はこのような形態に限定されない。例えば、ボート２１７の下部に断熱板２１８を設けずに、石英やＳｉＣ等の耐熱性材料により構成される筒状の部材として構成された断熱筒を設けてもよい。

[0028]（プラズマ生成部）

次にプラズマ生成部について、図１から図４を用いて説明する。

[0029] 図２に示すように、プラズマは容量結合プラズマ（Ｃａｐａｃｉｔｉｖｅｌｙ　Ｃｏｕｐｌｅｄ　Ｐｌａｓｍａ、略称：ＣＣＰ）を用い、反応ガス供給時に石英などで作製された真空隔壁であるバッファ室２３７の内部で生成する。

[0030] 本実施形態の一例においては、バッファ室２３７内には、図３および図４に示すように、導電体で構成され、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エハ２００の積載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。電極保護管２７５は、棒状電極２６９と２７１の両方を保護し、かつ、バッファ室内２３７内の上部でＵ字形状を有する石英管と、棒状電極２７０を保護する石英管から成っている。本形態では、バッファ室２３７内において、前述の両石英管がその上部で接続されて一体化されているが、個々に分離した形態でもよく、また、棒状電極２６９と２７０が接触しないように、棒状電極２７０に対してストッパとなるよう括れ形状をその接続部に有した形態でもよい。棒状電極２６９は、電極保護管２７５の下部より挿入されて前述のＵ字形状の曲がり部で折り返して、その先端部が電極保護管２７５の上部に位置するように配置されている。すなわち、棒状電極２６９の挿入方向とは逆の方向でＵ字形状にする。また、棒状電極２７０は、その先端部が電極保護管２７５の上部に位置するように、棒状電極２７１は、その先端部が電極保護管２７５の下部に位置するように配置されている。棒状電極２６９と棒状電極２７１とは長さが異なり、より詳しくはウエハ２００の積載方向に対して長さが異なり、例えば、棒状電極２６９は棒状電極２７１よりも長い。また、棒状電極２６９の先端部と棒状電極２７１の先端部とは間隔を置いて配置されている。棒状電極２６９の先端部は電極保護管２７５の上部側に位置するが、先端部を上方に移動させて短くしたり、下方に移動させて長くしたりして長さを調整することが可能である。棒状電極２７１の先端部は電極保護管２７５の下部側に位置するが、先端部を上方に移動させて長くしたり、下方に移動させて短くしたりして長さを調整することが可能である。すなわち、棒状電極２６９および棒状電極２７１は棒状電極２６９と棒状電極２７１とが接触しない範囲で長さを調整す

ることが可能である。

[0031] 本実施形態のもう一例においては、バッファ室２３７内には、図３および図５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エハ２００の積載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。電極保護管２７５は、棒状電極２６９を保護し、かつ、バッファ室２３７の上部の内外に渡ってＵ字形状を有する石英管と、棒状電極２７０，２７１をそれぞれ保護する石英管から成っている。本形態では、バッファ室内２３７内において、前述の複数の石英管がその上部で接続されて一体化されているが、個々に分離した形態でもよい。棒状電極２６９は、反応管２０３の外側で電極保護管２７５の下部より挿入されて前述のＵ字形状の曲がり部で折り返して、その先端部が電極保護管２７５の上部に位置するように配置されている。すなわち、棒状電極２６９の挿入方向とは逆の方向でＵ字形状にする。また、棒状電極２７０は、その先端部が電極保護管２７５の上部に位置するように、棒状電極２７１は、その先端部が電極保護管２７５の下部に位置するように配置されている。棒状電極２６９と棒状電極２７１とは長さが異なり、より詳しくはウエハ２００の積載方向に対して長さが異なり、例えば、棒状電極２６９は棒状電極２７１よりも長い。また、棒状電極２６９の先端部は電極保護管２７５の上部側に位置するが、先端部を上方に移動させて短くしたり、下方に移動させて長くしたりして長さを調整することが可能である。棒状電極２７１の先端部は電極保護管２７５の下部側に位置するが、先端部を上方に移動させて長くしたり、下方に移動させて短くしたりして長さを調整することが可能である。本形態では、棒状電極２６９は１本しか挿入されていないが、電極保護管２７５の下部より短い電極をもう１本を挿入して、その先端部が電極保護管２７５の下部に位置するように合わせて配置されてもよい。

[0032] 上記の両実施形態においても図２に示すように、棒状電極２６９，２７０，２７１のうち両端に配置される印加電極としての棒状電極２６９，２７１は、整合器２７２を介して高周波電源２７３に接続されて高周波電力が印加され、基準電極としての棒状電極２７０は、基準電位であるアースに接続され、接地されて基準電位が与えられる。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。これにより、基準電極の本数を削減することができる。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。主に、棒状電極２６９，２７０，２７１、電極保護管２７５によりプラズマ源としてのプラズマ生成部（プラズマ生成装置）が構成される。整合器２７２、高周波電源２７３をプラズマ源に含めて考えてもよい。プラズマ源は、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。印加電極は棒状電極２６９，２７１の２本の例を説明したが、印加電極は少なくとも２本あればよい。

[0033] 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。

[0034]（排気部）

反応管２０３には、図１に示すように処理室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。

[0035]（周辺装置）

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等の金属により構成され、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２

２０ｂが設けられている。

[0036] シールキャップ２１９の処理室２０１と反対側には、ボート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を貫通してボート２１７に接続されている。回転機構２６７は、ボート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ボートエレベータ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。ボートエレベータ１１５は、シールキャップ２１９を昇降させることで、ボート２１７を処理室２０１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。

[0037] 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Ｏ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。

[0038] 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内の温度が所望の温度分布となる。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。

[0039] （制御装置）

次に制御装置について図６を用いて説明する。図６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　Ｐｒ

ｏｃｅｓｓｉｎｇ　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。

[0040] 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されたものであり、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。

[0041] 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、回転機構２６７、ボートエレベータ１１５、シャッタ開閉機構１１５ｓ、高周波電源２７３等に接続されている。

[0042] 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、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によるボート２１７の正逆回転、回転角度および回転速度調節動作、ボートエレベータ１１５によるボート２１７の昇降動作、シャッタ開閉機構１１５ｓによるシャッタ２１９ｓの開閉動作、高周波電源２７３の電力供給等を制御するように構成されている。

[0043] 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。

[0044] （２）基板処理工程

上述の基板処理装置を用い、半導体装置（デバイス）の製造工程の一工程として、基板上に膜を形成するプロセス例について、図７を用いて説明する。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。

[0045] 本明細書では、図７に示す成膜処理のシーケンスを、便宜上、以下のように示すこともある。以下の変形例や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。

[0046] （ＢＴＢＡＳ→O_2*）×ｎ ⇒ ＳｉＯ

[0047] 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等との積層体」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。

[0048] また、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。

[0049]（搬入ステップ：Ｓ１）

複数枚のウエハ２００がボート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を支持したボート２１７は、ボートエレベータ１１５によって持ち上げられて処理室２０１内へ搬入（ボートロード）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。

[0050]（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。真空ポンプ２４６は、少なくとも後述する成膜ステップが終了するまでの間は常時作動させた状態を維持する。

[0051] 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２

０７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。ヒータ２０７による処理室２０１内の加熱は、少なくとも後述する成膜ステップが終了するまでの間は継続して行われる。但し、成膜ステップを室温以下の温度条件下で行う場合は、ヒータ２０７による処理室２０１内の加熱は行わなくてもよい。なお、このような温度下での処理だけを行う場合には、ヒータ２０７は不要となり、ヒータ２０７を基板処理装置に設置しなくてもよい。この場合、基板処理装置の構成を簡素化することができる。

[0052] 続いて、回転機構２６７によるボート２１７およびウエハ２００の回転を開始する。回転機構２６７によるボート２１７およびウエハ２００の回転は、少なくとも後述する成膜ステップが終了するまでの間は継続して行われる。

[0053]（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。

[0054]（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ＢＴＢＡＳガスを供給する。

[0055] バルブ２４３ａを開き、ガス供給管２３２ａ内へＢＴＢＡＳガスを流す。ＢＴＢＡＳ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、ウエハ２００に対してＢＴＢＡＳガスが供給されることとなる。このとき同時にバルブ２４３ｃを開き、ガス供給管２３２ｃ内へN_2ガスを流す。N_2ガスは、ＭＦＣ２４１ｃにより流量調整され、ＢＴＢＡＳ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。

[0056] また、ノズル２４９ｂ内へのＢＴＢＡＳガスの侵入を防止するため、バル

ブ２４３ｄを開き、ガス供給管２３２ｄ内へN_2ガスを流す。N_2ガスは、ガス供給管２３２ｄ、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。

[0057] ＭＦＣ２４１ａで制御するＢＴＢＡＳガスの供給流量は、例えば１ｓｃｃｍ以上、２０００ｓｃｃｍ以下、好ましくは１０ｓｃｃｍ以上、１０００ｓｃｃｍ以下の範囲内の流量とする。ＭＦＣ２４１ｃ，２４１ｄで制御するN_2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、上述した通り、例えば１以上、２６６６Ｐａ以下、好ましくは６７Ｐａ以上、１３３３Ｐａ以下の範囲内の圧力とする。ＢＴＢＡＳガスをウエハ２００に対して供給する時間は、例えば１秒以上、１００秒以下、好ましくは１秒以上、５０秒以下の範囲内の時間とする。

[0058] ヒータ２０７の温度は、ウエハ２００の温度が、例えば０℃以上１５０℃以下、好ましくは室温（２５℃）以上１００℃以下、より好ましくは４０℃以上９０℃以下の範囲内の温度となるような温度に設定する。ＢＴＢＡＳガスは、ウエハ２００等へ吸着し易く反応性の高いガスである。このため、例えば室温程度の低温下であっても、ウエハ２００上にＢＴＢＡＳガスを化学吸着させることができ、実用的な成膜レートを得ることができる。本実施形態のように、ウエハ２００の温度を１５０℃以下、さらには１００℃以下、さらには９０℃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ができる。また、０℃以上の温度であれば、ウエハ２００上にＢＴＢＡＳを十分に吸着させることができ、十分な成膜レートが得られることとなる。よって、ウエハ２００の温度は０℃以上１５０℃以下、好ましくは室温以上１００℃以下、より好ましくは４０℃以上９０℃以下の範囲内の温度とするのがよい。

[0059] 上述の条件下でウエハ２００に対してＢＴＢＡＳガスを供給することにより、ウエハ２００（表面の下地膜）上に、例えば１原子層（１分子層）未満から数原子層（数分子層）程度の厚さのＳｉ含有層が形成される。Ｓｉ含有

層はＳｉ層であってもよいし、ＢＴＢＡＳ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。

[0060] Ｓｉ層とは、Ｓｉにより構成される連続的な層の他、不連続な層や、これらが重なってできるＳｉ薄膜をも含む総称である。Ｓｉ層を構成するＳｉは、アミノ基との結合が完全に切れていないものや、Ｈとの結合が完全に切れていないものも含む。

[0061] ＢＴＢＡＳの吸着層は、ＢＴＢＡＳ分子で構成される連続的な吸着層の他、不連続な吸着層をも含む。ＢＴＢＡＳの吸着層を構成するＢＴＢＡＳ分子は、Ｓｉとアミノ基との結合が一部切れたものや、ＳｉとＨとの結合が一部切れたものや、ＮとＣとの結合が一部切れたもの等も含む。すなわち、ＢＴＢＡＳの吸着層は、ＢＴＢＡＳの物理吸着層であってもよいし、ＢＴＢＡＳの化学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。

[0062] ここで、１原子層（１分子層）未満の厚さの層とは不連続に形成される原子層（分子層）のことを意味しており、１原子層（１分子層）の厚さの層とは連続的に形成される原子層（分子層）のことを意味している。Ｓｉ含有層は、Ｓｉ層とＢＴＢＡＳの吸着層との両方を含み得る。但し、上述の通り、Ｓｉ含有層については「１原子層」、「数原子層」等の表現を用いることとし、「原子層」を「分子層」と同義で用いる。

[0063] ＢＴＢＡＳが自己分解（熱分解）する条件下、すなわち、ＢＴＢＡＳの熱分解反応が生じる条件下では、ウエハ２００上にＳｉが堆積することでＳｉ層が形成される。ＢＴＢＡＳが自己分解（熱分解）しない条件下、すなわち、ＢＴＢＡＳの熱分解反応が生じない条件下では、ウエハ２００上にＢＴＢＡＳが吸着することでＢＴＢＡＳの吸着層が形成される。但し、本実施形態では、ウエハ２００の温度を例えば１５０℃以下の低温としているので、ＢＴＢＡＳの熱分解は生じにくい。結果として、ウエハ２００上へは、Ｓｉ層ではなく、ＢＴＢＡＳの吸着層の方が形成されやすくなる。

[0064] ウエハ２００上に形成されるＳｉ含有層の厚さが数原子層を超えると、後述する改質処理での改質の作用がＳｉ含有層の全体に届かなくなる。また、

ウエハ２００上に形成可能なＳｉ含有層の厚さの最小値は１原子層未満である。よって、Ｓｉ含有層の厚さは１原子層未満から数原子層程度とするのが好ましい。Ｓｉ含有層の厚さを１原子層以下、すなわち、１原子層または１原子層未満とすることで、後述する改質処理での改質の作用を相対的に高めることができ、改質処理の改質反応に要する時間を短縮することができる。また、成膜処理のＳｉ含有層の形成に要する時間を短縮することもできる。結果として、１サイクルあたりの処理時間を短縮することができ、トータルでの処理時間を短縮することも可能となる。すなわち、成膜レートを高くすることも可能となる。また、Ｓｉ含有層の厚さを１原子層以下とすることで、膜厚均一性の制御性を高めることも可能となる。

[0065] 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ＢＴＢＡＳ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ＢＴＢＡＳ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N_2ガスの供給を維持する。N_2ガスはパージガス（不活性ガス）として作用する。なお、このステップＳ４を省略し、原料ガス供給ステップとしてもよい。

[0066] 原料ガスとしては、ＢＴＢＡＳガスのほか、テトラキスジメチルアミノシラン（Ｓｉ［Ｎ（CH_3）$_2$］$_4$、略称：４ＤＭＡＳ）ガス、トリスジメチルアミノシラン（Ｓｉ［Ｎ（CH_3）$_2$］$_3$Ｈ、略称：３ＤＭＡＳ）ガス、ビスジメチルアミノシラン（Ｓｉ［Ｎ（CH_3）$_2$］$_2$$H_2$、略称：ＢＤＭＡＳ）ガス、ビスジエチルアミノシラン（Ｓｉ［Ｎ（C_2H_5）$_2$］$_2$$H_2$、略称：ＢＤＥＡＳ）ガス等を好適に用いることができる。このほか、原料ガスとしては、ジメチルアミノシラン（ＤＭＡＳ）ガス、ジエチルアミノシラン（ＤＥＡＳ）ガス、ジプロピルアミノシラン（ＤＰＡＳ）ガス、ジイソプロピルアミノシラン（ＤＩＰＡＳ）ガス、ブチルアミノシラン（ＢＡＳ）ガス、ヘキサメチルジシラザン（ＨＭＤＳ）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（SiH_3Cl、略称：ＭＣＳ）ガス、ジクロロシラン（SiH_2Cl_2、略称：ＤＣＳ）ガス、トリクロロシラン（$SiHCl_3$、略称：ＴＣＳ）ガス、テトラクロロシランすなわちシリコンテトラクロライド（$SiCl_4$、略称：ＳＴＣ）ガス、ヘキサクロロジシラン（Si_2Cl_6、略称：ＨＣＤＳ）ガス、オクタクロロトリシラン（Si_3Cl_8、略称：ＯＣＴＳ）ガス等の無機系ハロシラン原料ガスや、モノシラン（SiH_4、略称：ＭＳ）ガス、ジシラン（Si_2H_6、略称：ＤＳ）ガス、トリシラン（Si_3H_8、略称：ＴＳ）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。

[0067] 不活性ガスとしては、N_2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。

[0068] （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O_2ガスを供給する（Ｓ５）。

[0069] 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。O_2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、高周波電源２７３から棒状電極２６９，２７０，２７１へ高周波電力（本実施の形態では周波数１３．５６ＭＨｚ）を供給（印加）する。バッファ室２３７内へ供給されたO_2ガスは処理室２０１の内部でプラズマ状態に励起され、活性種（O^*、O_2^*、O_3）としてウエハ２００に対して供給され、排気管２３１から排気される。なお、プラズマ状態に励起されたO_2ガスを、酸素プラズマとも称する。

[0070] ＭＦＣ２４１ｂで制御するO_2ガスの供給流量は、例えば１００ｓｃｃｍ以上、１００００ｓｃｃｍ以下の範囲内の流量とする。高周波電源２７３から棒状電極２６９，２７０，２７１へ印加する高周波電力は、例えば５０Ｗ以上、１０００Ｗ以下の範囲内の電力とする。処理室２０１内の圧力は、例えば１０Ｐａ以上、３００Ｐａ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、O_2ガスを活性化させることが可能となる。O_2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は、例えば１秒以上、１００秒以下、好ましくは１秒以上、５０秒以下の範囲内の時間とする。その他の処理条件は、上述のステップＳ３と同様な処理条件とする。

[0071] 酸素プラズマ中で生成されたイオンと電気的に中性な活性種はウエハ２００の表面に形成されたＳｉ含有層に対して後述する酸化処理を行う。

[0072] 上述の条件下でウエハ２００に対してO_2ガスを供給することにより、ウエハ２００上に形成されたＳｉ含有層がプラズマ酸化される。この際、プラズマ励起されたO_2ガスのエネルギーにより、Ｓｉ含有層が有するＳｉ－Ｎ結合、Ｓｉ－Ｈ結合が切断される。Ｓｉとの結合を切り離されたＮ、Ｈ、および、Ｎに結合するＣは、Ｓｉ含有層から脱離することとなる。そして、Ｎ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、O_2ガスに含まれるＯと結合し、Ｓｉ－Ｏ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Ｏを含む層、すなわち、シリコン酸化層（ＳｉＯ層）へと変化させられる（改質される）。

[0073] なお、Ｓｉ含有層をＳｉＯ層へと改質させるには、O_2ガスをプラズマ励起させて供給する必要がある。O_2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含有層を酸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ＮやＣを充分に脱離させたり、Ｓｉ含有層を充分に酸化させてＳｉ－Ｏ結合を増加させたりすることは、困難なためである。

[0074] Ｓｉ含有層をＳｉＯ層へ変化させた後、バルブ２４３ｂを閉じ、O_2ガスの供給を停止する。また、棒状電極２６９，２７０，２７１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O_2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を省略して反応ガス供給ステップとしてもよい。

[0075] 酸化剤、すなわち、プラズマ励起させるＯ含有ガスとしては、O_2ガスの他、亜酸化窒素（N_2O）ガス、一酸化窒素（ＮＯ）ガス、二酸化窒素（NO_2）ガス、オゾン（O_3）ガス、過酸化水素（H_2O_2）ガス、水蒸気（H_2O）、水酸化アンモニウム（NH_4（ＯＨ））ガス、一酸化炭素（ＣＯ）ガス、二酸化炭素（CO_2）ガス等を用いてもよい。

[0076] 不活性ガスとしては、N_2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。

[0077] （所定回数実施：Ｓ７）

上述したステップ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回以上行うことにより、ウエハ２００上に、所定組成および所定膜厚のＳｉＯ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ＳｉＯ層の厚さを所望の膜厚よりも小さくし、ＳｉＯ層を積層することで形成されるＳｉＯ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。

[0078]（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N_2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O_2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（大気圧復帰：Ｓ８）。

[0079]（搬出ステップ：Ｓ９）

その後、ボートエレベータ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、ボート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（ボートアンロード）される。ボートアンロードの後は、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Ｏ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、ボート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は、処理室２０１内へ空のボート２１７を搬入するようにしてもよい。

[0080] ここで、基板処理時の炉内圧力は、１０Ｐａ以上、３００Ｐａ以下の範囲で制御されることが好ましい。これは、炉内の圧力が１０Ｐａより低い場合、プラズマのデバイ長よりもガス分子の平均自由工程が長くなってしまい、炉壁を直接叩くプラズマが顕著化するため、パーティクルの発生を抑制することが困難となってしまうためである。また、炉内の圧力が３００Ｐａより高い場合、プラズマの生成効率が飽和してしまうため、反応ガスを供給してもプラズマの生成量は変化することがなく、反応ガスを無駄に消費することとなってしまうと同時に、ガス分子の平均自由行程が短くなることで、ウエハまでのプラズマ活性種の輸送効率が悪くなってしまうためである。

[0081] （３）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）棒状電極２６９と棒状電極２７１との長さが異なることにより、バッファ室内２３７で生成されて処理室２０１内へ供給される活性種の供給量を複数の基板間で均等にすることが可能となる。

（ｂ）棒状電極２６９、２７１の長さを調整することで、バッファ室内２３７で生成されて処理室２０１内へ供給される活性種の供給量を複数の基板間で均等になるように調整することが可能となる。

（ｃ）棒状電極２６９、２７１の長さを調整することで、バッファ室内２３７で生成されて処理室２０１内へ供給される活性種の供給量を上下対称に調整することが可能となる。

[0082] （変形例１）

次に、本実施形態の変形例を図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。

[0083] 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。

[0084] 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印加電極としての棒状電極３６９，３７１は、整合器３７２を介して高周波電源３７３に接続され、基準電極としての棒状電極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２３２ｂに接続され、ノズル２４９ｂと同一のガスを供給することが可能となっている。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４０２，４０４，４０６が設けられている。ガス供給口４０２，４０４，４０６は、棒状電極３６９，３７０間、棒状電極３７０，３７１間、棒状電極３７１とノズル２４９ｃとの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。

[0085] 図８に示すように、平面視において、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

る直線に対して線対称に設けられている。また、平面視において、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。

[0086] 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及び整合器２７２，３７２を備えている。それぞれの高周波電源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、それぞれのプラズ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、高周波電源の電源が高くなるように制御する。これにより、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充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。

[0087] （変形例２）

次に、本実施形態の変形例２を図９に基づいて説明する。本変形例２では、反応管２０３の内壁に、プラズマ生成部を備えたバッファ構造を３つ設け、原料ガスを供給するノズルを２つ設ける。

[0088] バッファ構造５００の内側には、バッファ構造３００，４００と同様に、それぞれ電極保護管２７５に覆われた棒状電極４６９，４７０，４７１及びノズル２４９ｄ、が設けられ、印加電極としての棒状電極４６９，４７１は

、不図示の整合器を介して高周波電源に接続され、基準電極としての棒状電極４７０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２４９ｄは、ガス供給管２３２ｂに接続され、ノズル２４９ｂと同一のガスを供給することが可能となっている。バッファ構造５００の円弧状に形成された壁面の電極間には、ガスを供給するガス供給口５０２，５０４，５０６が設けられている。ガス供給口５０２，５０４，５０６は、棒状電極４６９，４７０間、棒状電極４７０，４７１間、棒状電極４７１とノズル２４９ｄとの間のプラズマ生成領域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。また、ノズル２４９ｅは、ガス供給管２３２ａに接続され、ノズル２４９ａと同一のガスを供給することが可能となっている。

[0089] 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の中心を通る直線に対して線対称に設けられている。また、バッファ機構５００は、ウエハ２００を挟んで排気管２３１と対向する位置に設けられている。原料ガスを供給するノズル２４９ａ，２４９ｅは、それぞれバッファ構造３００とバッファ構造５００の間と、バッファ構造４００とバッファ構造５００の間に設けられている。また、反応ガスを供給するノズル２４９ｂ、ノズル２４９ｃ、ノズル２４９ｄは、それぞれバッファ室２３７内において同じ側に配置され、ノズル２４９ｂ、ノズル２４９ｃ、ノズル２４９ｄのガス供給孔は、それぞれバッファ構造３００，４００，５００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いる。

[0090] 本変形例２によっても、上述した実施形態及び変形例１と同様の効果が得られる。

[0091] （変形例３）

次に、本実施形態の変形例３を図１０に基づいて説明する。本変形例３では、反応管２０３の内壁に、プラズマ生成部を備えたバッファ構造を４つ設

ける。

[0092] バッファ構造６００の内側には、バッファ構造３００，４００，５００と同様に、それぞれ電極保護管２７５に覆われた棒状電極５６９，５７０，５７１及びノズル２４９ｆ、が設けられ、印加電極としての棒状電極５６９，５７１は、不図示の整合器を介して高周波電源に接続され、基準電極としての棒状電極５７０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２４９ｆは、ガス供給管２３２ｂに接続され、ノズル２４９ｂと同一のガスを供給することが可能となっている。バッファ構造６００の円弧状に形成された壁面の電極間には、ガスを供給するガス供給口６０２，６０４，６０６が設けられている。ガス供給口６０２，６０４，６０６は、棒状電極５６９，５７０間、棒状電極５７０，５７１間、棒状電極５７１とノズル２４９ｆとの間のプラズマ生成領域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。

[0093] バッファ構造３００，４００，５００，６００は、等間隔に設けられている。ノズル２４９ａは、ウエハ２００を挟んで排気管２３１と対向する位置に設けられている。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から遠い側に設けられている。また、ノズル２４９ｄとノズル２４９ｆは、それぞれバッファ室２３７内の排気管２３１側に設けられ、ノズル２４９ｂ、ノズル２４９ｃ、ノズル２４９ｄ、ノズル２４９ｆのガス供給孔は、それぞれバッファ構造３００，４００，５００，６００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いる。

[0094] 本変形例３によっても、上述した実施形態及び変形例１と同様の効果が得られる。

[0095] 以上、本開示の実施形態について具体的に説明した。しかしながら、本開示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。

[0096] また、例えば、上述の実施形態では、一箇所のバッファ構造３００にてガスをプラズマ状態に励起（活性化）させて、活性種をウエハに供給する例について説明した。本開示ではこのような態様に限定されず、複数箇所のバッファ構造にてプラズマ状態を作り、活性種をウエハに供給する形態を有してもよい。すなわち、バッファ構造を複数有することで活性種の供給量を増大させて、成膜速度を高めることが可能となる。

[0097] また、例えば、上述の実施形態では、原料を供給した後に反応体を供給する例について説明した。本開示はこのような態様に限定されず、原料、反応体の供給順序は逆でもよい。すなわち、反応体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。

[0098] 上述の実施形態等では、ウエハ２００上にＳｉＯ膜を形成する例について説明した。本開示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にも、好適に適用可能である。

[0099] 例えば、上述したガスの他、もしくは、これらのガスに加え、アンモニア（NH_3）ガス等の窒素（Ｎ）含有ガス、プロピレン（C_3H_6）ガス等の炭素（Ｃ）含有ガス、三塩化硼素（BCl_3）ガス等の硼素（Ｂ）含有ガス等を用い、例えば、ＳｉＮ膜、ＳｉＯＮ膜、ＳｉＯＣＮ膜、ＳｉＯＣ膜、ＳｉＣＮ膜、ＳｉＢＮ膜、ＳｉＢＣＮ膜、ＢＣＮ膜等を形成することができる。なお、各ガスを流す順番は適宜変更することができる。これらの成膜を行う場合においても、上述の実施形態と同様な処理条件にて成膜を行うことができ、上述の実施形態と同様の効果が得られる。これらの場合、反応ガスとしての酸化剤には、上述した反応ガスを用いることができる。

[0100] また、本開示は、ウエハ２００上に、チタン（Ｔｉ）、ジルコニウム（Ｚｒ）、ハフニウム（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、本開示は、ウエハ２００上に、ＴｉＯ膜、ＴｉＯＣ膜、ＴｉＯＣＮ膜、ＴｉＯＮ膜、ＴｉＮ膜、ＴｉＳｉＮ膜、ＴｉＢＮ膜、ＴｉＢＣＮ膜、ＺｒＯ膜、ＺｒＯＣ膜、ＺｒＯＣＮ膜、ＺｒＯＮ膜、ＺｒＮ膜、ＺｒＳｉＮ膜、ＺｒＢＮ膜、ＺｒＢＣＮ膜、ＨｆＯ膜、ＨｆＯＣ膜、ＨｆＯＣＮ膜、ＨｆＯＮ膜、ＨｆＮ膜、ＨｆＳｉＮ膜、ＨｆＢＮ膜、ＨｆＢＣＮ膜、ＴａＯ膜、ＴａＯＣ膜、ＴａＯＣＮ膜、ＴａＯＮ膜、ＴａＮ膜、ＴａＳｉＮ膜、ＴａＢＮ膜、ＴａＢＣＮ膜、ＮｂＯ膜、ＮｂＯＣ膜、ＮｂＯＣＮ膜、ＮｂＯＮ膜、ＮｂＮ膜、ＮｂＳｉＮ膜、ＮｂＢＮ膜、ＮｂＢＣＮ膜、ＡｌＯ膜、ＡｌＯＣ膜、ＡｌＯＣＮ膜、ＡｌＯＮ膜、ＡｌＮ膜、ＡｌＳｉＮ膜、ＡｌＢＮ膜、ＡｌＢＣＮ膜、ＭｏＯ膜、ＭｏＯＣ膜、ＭｏＯＣＮ膜、ＭｏＯＮ膜、ＭｏＮ膜、ＭｏＳｉＮ膜、ＭｏＢＮ膜、ＭｏＢＣＮ膜、ＷＯ膜、ＷＯＣ膜、ＷＯＣＮ膜、ＷＯＮ膜、ＷＮ膜、ＷＳｉＮ膜、ＷＢＮ膜、ＷＢＣＮ膜等を形成する場合にも、好適に適用することが可能となる。

[0101] 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（CH_3）$_2$］$_4$、略称：ＴＤＭＡＴ）ガス、テトラキス（エチルメチルアミノ）ハフニウム（Ｈｆ［Ｎ（C_2H_5）（CH_3）］$_4$、略称：ＴＥＭＡＨ）ガス、テトラキス（エチルメチルアミノ）ジルコニウム（Ｚｒ［Ｎ（C_2H_5）（CH_3）］$_4$、略称：ＴＥＭＡＺ）ガス、トリメチルアルミニウム（Ａｌ（CH_3）$_3$、略称：ＴＭＡ）ガス、チタニウムテトラクロライド（$TiCl_4$）ガス、ハフニウムテトラクロライド（$HfCl_4$）ガス等を用いることができる。

[0102] すなわち、本開示は、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、上述の実施形態と同様の効果が得られる。

[0103] 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、ＣＰＵ１２１ａ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。

[0104] 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。

符号の説明

[0105] ２００…ウエハ（基板）、２０１…処理室、２０３…反応管、２０７…ヒータ（加熱装置）、２６９、２７１…棒状電極（印加電極）、２７０…棒状電極（基準電極）、２７５…電極保護管、２３７…バッファ室