

明 細 書

発明の名称：

半導体装置の製造方法、基板処理装置及びプログラム

技術分野

[0001] 本開示は、半導体装置の製造方法、基板処理装置及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] フラッシュメモリ等の半導体装置のパターンを形成する際、製造工程の工程として、基板に酸化処理や窒化処理等の所定の処理を行う工程が実施される場合がある。

[0003] 例えば、特許文献1には、プラズマ励起した処理ガスを用いて基板上に形成されたパターン表面を改質処理することが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2014-75579号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 本開示の目的は、基板上に供給される酸化種の面内分布を制御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] 本開示の一態様によれば、
基板を処理室内に収容する工程と、
前記処理室内に酸素を含有する第1ガスを供給する工程と、
前記第1ガスを励起して前記処理室内にプラズマを生成する工程と、
前記処理室内に水素を含有する第2ガスを供給し、前記プラズマの前記処理室内における密度分布に応じて前記処理室内における水素の濃度分布を調

整する工程と、

前記プラズマにより生成された酸化種により前記基板を処理する工程と、
を有する技術が提供される。

発明の効果

[0007] 本開示によれば、基板上に供給される酸化種の面内分布を制御することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]本開示の一実施形態に係る基板処理装置の概略断面図。

[図2]本開示の実施形態に係る基板処理装置のプラズマ生成原理を説明する説明図。

[図3]本開示の一実施形態に係る基板処理装置の制御部（制御手段）の構成を示す図。

[図4]本開示の一実施形態に係る基板処理工程を示すフロー図。

[図5]基板上に形成されるプラズマを説明するための模式図である。

[図6]（A）は、水素濃度分布が一定の場合のプラズマP 1からの距離と、このプラズマP 1により生成される酸化種の密度との関係を示す図であり、（B）は、水素濃度分布が一定の場合のプラズマP 2からの距離と、このプラズマP 2により生成される酸化種の密度との関係を示す図であり、（C）は、水素濃度分布が一定の場合のプラズマP 1，P 2により基板上に生成される酸化種の分布を示す図である。

[図7]水素濃度と、プラズマPからの距離と、このプラズマPにより生成される酸化種の密度との関係を示す図である。

[図8]処理室201内の水素濃度分布を調整前と調整後のプラズマPからの距離と、このプラズマPにより生成される酸化種の密度との関係を説明するための図である。

[図9]（A）は、水素濃度分布を調整後のプラズマP 1からの距離と、このプラズマP 1により生成される酸化種の密度との関係を示す図であり、（B）は、水素濃度分布を調整後のプラズマP 2からの距離と、このプラズマP 2

により生成される酸化種の密度との関係を示す図であり、(C)は、水素濃度分布を調整後のプラズマP1, P2により基板上に生成される酸化種の分布を示す図である。

発明を実施するための形態

[0009] <本開示の第一の実施形態>

(1) 基板処理装置の構成

本開示の第1実施形態に係る基板処理装置について、図1及び図2を用いて以下に説明する。本実施形態に係る基板処理装置は、主に基板面上に形成された膜に対して酸化処理を行うように構成されている。

[0010] (処理室)

基板処理装置100は、ウェハ200をプラズマを用いて処理する処理炉202を備えている。処理炉202には、処理室201を構成する処理容器203が設けられている。処理容器203は、第1の容器であるドーム型の上側容器210と、第2の容器である碗型の下側容器211とを備えている。上側容器210が下側容器211の上に被さることにより、処理室201が形成される。上側容器210は、例えば酸化アルミニウム(Al_2O_3)または石英(SiO_2)等の非金属材料で形成されており、下側容器211は、例えばアルミニウム(Al)で形成されている。

[0011] また、下側容器211の下部側壁には、ゲートバルブ244が設けられている。ゲートバルブ244は、開いているとき、搬送機構(図示せず)を用いて、搬入出口245を介して、処理室201内へウェハ200を搬入したり、処理室201外へとウェハ200を搬出したりすることができるように構成されている。ゲートバルブ244は、閉まっているときには、処理室201内の気密性を保持する仕切弁となるように構成されている。

[0012] 処理室201は、周囲にコイル212が設けられているプラズマ生成空間201aと、プラズマ生成空間201aに連通し、ウェハ200が処理される基板処理空間201bを有する。プラズマ生成空間201aはプラズマが生成される空間であって、処理室内、コイル212の下端より上方であっ

て、且つコイル 2 1 2 の上端より下方の空間を言う。一方、基板処理空間 2 0 1 b は、基板がプラズマを用いて処理される空間であって、コイル 2 1 2 の下端より下方の空間を言う。本実施形態では、プラズマ生成空間 2 0 1 a と基板処理空間 2 0 1 b の水平方向の径は略同一となるように構成されている。

[0013] (サセプタ)

処理室 2 0 1 の底側中央には、ウエハ 2 0 0 を載置する基板載置部（基板載置台）を構成するサセプタ 2 1 7 が配置されている。サセプタ 2 1 7 は例えば窒化アルミニウム（A l N）、セラミックス、石英等の非金属材料から形成されている。

[0014] サセプタ 2 1 7 の内部には、加熱機構としてのヒータ 2 1 7 b が一体的に埋め込まれている。ヒータ 2 1 7 b は、電力が供給されると、ウエハ 2 0 0 表面を例えば 2 5 ℃ から 7 5 0 ℃ 程度まで加熱することができるように構成されている。

[0015] サセプタ 2 1 7 は、下側容器 2 1 1 とは電氣的に絶縁されている。インピーダンス調整電極 2 1 7 c はサセプタ 2 1 7 内部に設けられており、インピーダンス調整部としてのインピーダンス可変機構 2 7 5 を介して接地されている。インピーダンス可変機構 2 7 5 はコイルや可変コンデンサにより構成されており、コイルのインダクタンス及び抵抗並びに可変コンデンサの容量値を制御することにより、インピーダンスを変化させることができるように構成されている。これによって、インピーダンス調整電極 2 1 7 c 及びサセプタ 2 1 7 を介して、ウエハ 2 0 0 の電位（バイアス電圧）を制御できる。なお、本実施形態においてインピーダンス調整電極 2 1 7 c を用いたバイアス電圧制御を行うか、もしくは行わないかは任意に選択することができる。

[0016] サセプタ 2 1 7 には、サセプタを昇降させる駆動機構を備えるサセプタ昇降機構 2 6 8 が設けられている。また、サセプタ 2 1 7 には貫通孔 2 1 7 a が設けられるとともに、下側容器 2 1 1 の底面にはウエハ突上げピン 2 6 6 が設けられている。貫通孔 2 1 7 a とウエハ突上げピン 2 6 6 は互いに対向

する位置に、少なくとも各3箇所ずつ設けられている。サセプタ昇降機構268によりサセプタ217が下降させられたときには、ウエハ突上げピン266が貫通孔217aを突き抜けるように構成されている。

主に、サセプタ217及びヒータ217b、電極217cにより、本実施形態に係る基板載置部が構成されている。

[0017] (第1ガス供給部)

処理室201の上方、つまり上側容器210の上部には、ガス供給ヘッド236が設けられている。ガス供給ヘッド236は、キャップ状の蓋体233と、ガス導入口234と、バッファ室237と、開口238と、遮蔽プレート240と、ガス吹出口239とを備え、反応ガスを処理室201内へ供給できるように構成されている。バッファ室237は、ガス導入口234より導入される反応ガスを分散する分散空間としての機能を持つ。ガス吹出口239は、処理室201の内周に沿って設けられたスリット状の開口として構成されており、処理室201の内周壁近傍に向けて、その周方向において均等に反応ガスを供給できるように構成されている。

[0018] ガス導入口234には、酸素含有ガスとしての酸素(O_2)ガスを供給する酸素含有ガス供給管232aの下流端と、水素含有ガスとしての水素(H_2)ガスを供給する水素含有ガス供給管232bの下流端と、不活性ガスとしての窒素(N_2)ガスを供給する不活性ガス供給管232cと、が合流するように接続されている。酸素含有ガス供給管232aには、 O_2 ガス供給源250a、流量制御装置としてのマスフローコントローラ(MFC)252a、開閉弁としてのバルブ253aが設けられている。水素含有ガス供給管232bには、 H_2 ガス供給源250b、MFC252b、バルブ253bが設けられている。不活性ガス供給管232cには、 N_2 ガス供給源250c、MFC252c、バルブ253cが設けられている。酸素含有ガス供給管232aと水素含有ガス供給管232bと不活性ガス供給管232cとが合流した下流側には、バルブ243aが設けられ、ガス導入口234の上流端に接続されている。バルブ253a、253b、253c、243aを開閉させ、M

F C 2 5 2 a, 2 5 2 b, 2 5 2 cによりそれぞれのガスの流量を調整しつつ、酸素含有ガス供給管 2 3 2 a、水素含有ガス供給管 2 3 2 b、不活性ガス供給管 2 3 2 cを介して、酸素含有ガス、水素ガス含有ガス、不活性ガス等の処理ガスを処理室 2 0 1 内へ供給できるように構成されている。

[0019] 主に、ガス供給ヘッド 2 3 6 (蓋体 2 3 3、ガス導入口 2 3 4、バッファ室 2 3 7、開口 2 3 8、遮蔽プレート 2 4 0、ガス吹出口 2 3 9)、酸素含有ガス供給管 2 3 2 a、水素含有ガス供給管 2 3 2 b、不活性ガス供給管 2 3 2 c、M F C 2 5 2 a, 2 5 2 b, 2 5 2 c、バルブ 2 5 3 a, 2 5 3 b, 2 5 3 c, 2 4 3 aにより、本実施形態に係る第 1 ガス供給部 (第 1 ガス供給系) が構成されている。第 1 ガス供給部は、処理室 2 0 1 内に、酸素を含有する酸化種源としてのガスを供給するよう構成されている。以下において、第 1 ガス供給部から供給されるガスを第 1 ガスと称する。

[0020] (第 2 ガス供給部)

処理室 2 0 1 の中央上方には、ガス供給リング 3 0 0 が設けられている。ガス供給リング 3 0 0 は、リング形状のノズルであるガス供給管 3 0 1 と、ガス導入口 3 0 2 と、複数のガス吹出孔 3 0 3 とを備え、反応ガスを処理室 2 0 1 内へ供給できるように構成されている。複数のガス吹出孔 3 0 3 は、例えばガス供給管 3 0 1 の下面に、リング形状の周方向に沿って均等な間隔をなすように配置され、処理室 2 0 1 の周方向において均等に反応ガスを供給できるように構成されている。

[0021] ガス導入口 3 0 2 には、酸素含有ガスとしての O_2 ガスを供給する酸素含有ガス供給管 2 3 2 d の下流端と、水素含有ガスとしての H_2 ガスを供給する水素含有ガス供給管 2 3 2 e の下流端と、不活性ガスとしての N_2 ガスを供給する不活性ガス供給管 2 3 2 f と、が合流するように接続されている。酸素含有ガス供給管 2 3 2 d には、 O_2 ガス供給源 2 5 0 d、M F C 2 5 2 d、バルブ 2 5 3 d が設けられている。水素含有ガス供給管 2 3 2 e には、 H_2 ガス供給源 2 5 0 e、M F C 2 5 2 e、バルブ 2 5 3 e が設けられている。不活性ガス供給管 2 3 2 f には、 N_2 ガス供給源 2 5 0 f、M F C 2 5 2 f、バルブ

253f が設けられている。酸素含有ガス供給管 232d と水素含有ガス供給管 232e と不活性ガス供給管 232f とが合流した下流側には、バルブ 243c が設けられ、ガス導入口 302 の上流端に接続されている。バルブ 253d, 253e, 253f, 243c を開閉させ、MFC 252d, 252e, 252f によりそれぞれのガスの流量を調整しつつ、酸素含有ガス供給管 232d、水素含有ガス供給管 232e、不活性ガス供給管 232f を介して、酸素含有ガス、水素ガス含有ガス、不活性ガス等の処理ガスを処理室 201 内へ供給できるように構成されている。

[0022] 主に、ガス供給リング 300、酸素含有ガス供給管 232d、水素含有ガス供給管 232e、不活性ガス供給管 232f、MFC 252d, 252e, 252f、バルブ 253d, 253e, 253f, 243c により、本実施形態に係る第 2 ガス供給部（第 2 ガス供給系）が構成されている。第 2 ガス供給部は、処理室 201 内に、水素を含有する水素濃度を調整するための水素濃度調整ガスを供給するよう構成されている。以下において、第 2 ガス供給部から供給されるガスを第 2 ガスと称する。

[0023] 第 1 ガス供給部は、処理室 201 の内壁に沿ったプラズマ生成空間 201a（後述）内の第 1 の領域である外周領域に、第 1 ガスを供給するよう構成されている。また、第 2 ガス供給部は、外周領域に囲まれた領域であって、プラズマ生成空間 201a 内の第 2 の領域である中央領域に、第 2 ガスを供給するよう構成されている。つまり、第 1 ガスは、処理室 201 内の外周領域に供給され、第 2 ガスは、ウェハ 200 の処理面の上方領域を含み、且つ外周領域とはウェハ 200 の面方向において異なる領域である中央領域に供給される。処理室 201 内の空間は、処理室 201 の内壁に沿った外周領域と、外周領域に囲まれた中央領域とで構成されている。

[0024] 第 1 ガス供給部と第 2 ガス供給部によれば、第 1 ガスおよび第 2 ガスそれぞれについて、 O_2 ガスと H_2 ガスの混合比（流量比）やその総流量を調整することが可能である。よって、処理室 201 内の外周領域と中央領域との各領域に供給される O_2 ガスと H_2 ガスの混合比やその総流量を調整することが可能

である。

[0025] (排気部)

下側容器 211 の側壁には、処理室 201 内から反応ガスなどを排気するガス排気口 235 が設けられている。ガス排気口 235 には、ガス排気管 231 の上流端が接続されている。ガス排気管 231 には、圧力調整器としての APC (Auto Pressure Controller) バルブ 242、開閉弁としてのバルブ 243b、真空排気装置としての真空ポンプ 246 が設けられている。

主に、ガス排気口 235、ガス排気管 231、APC バルブ 242、バルブ 243b により、本実施形態に係る排気部が構成されている。尚、真空ポンプ 246 を排気部に含めても良い。

[0026] (プラズマ生成部)

処理室 201 の外周部、すなわち上側容器 210 の側壁の外側には、処理室 201 を囲うように、高周波電極としての、螺旋状の共振コイル 212 が設けられている。共振コイル 212 には、RF センサ 272、高周波電源 273、高周波電源 273 のインピーダンスや出力周波数の整合を行う整合器 274 が接続される。

[0027] 高周波電源 273 は、共振コイル 212 に高周波電力 (RF 電力) を供給するものである。RF センサ 272 は高周波電源 273 の出力側に設けられ、供給される高周波の進行波や反射波の情報をモニタする。RF センサ 272 によってモニタされた反射波電力は整合器 274 に入力され、整合器 274 は、RF センサ 272 から入力された反射波の情報に基づいて、反射波が最小となるよう、高周波電源 273 のインピーダンスや出力される高周波電力の周波数を制御する。

[0028] 共振コイル 212 は、所定の波長の定在波を形成するため、一定の波長で共振するように巻径、巻回ピッチ、巻数が設定される。すなわち、共振コイル 212 の電氣的長さは、高周波電源 273 から供給される高周波電力の所定周波数における 1 波長の整数倍に相当する長さに設定される。

- [0029] 具体的には、印加する電力や発生させる磁界強度または適用する装置の外形などを勘案し、共振コイル212は、例えば、800kHz～50MHz、0.1～5KWの高周波電力によって0.01～10ガウス程度の磁場を発生し得る様に、50～300mm²の有効断面積であって且つ200～500mmのコイル直径とされ、プラズマ生成空間201aの外周側に2～60回程巻回される。なお、本明細書における「800kHz～50MHz」のような数値範囲の表記は、下限値および上限値がその範囲に含まれることを意味する。例えば、「800kHz～50MHz」とは「800kHz以上50MHz以下」を意味する。他の数値範囲についても同様である。
- [0030] 本実施形態では、高周波電力の周波数を27.12MHz、共振コイル212の電氣的長さを1波長の長さ（約11メートル）に設定している。共振コイル212の巻回ピッチは、例えば、24.5mm間隔で等間隔となるように設けられる。また、共振コイル212の巻径（直径）はウエハ200の直径よりも大きくなるように設定される。本実施形態では、ウエハ200の直径を300mmとし、共振コイル212の巻径はウエハ200の直径よりも大きい500mmとなるように設けられる。
- [0031] 共振コイル212の両端は電氣的に接地され、そのうちの少なくとも一端は、装置の最初の設置の際又は処理条件の変更の際に共振コイル212の電氣的長さを微調整するため、可動タップ213を介して接地される。図1中の符号214は他方の固定グランドを示す。可動タップ213は、共振コイル212の共振特性を高周波電源273と略等しくするように位置が調整される。さらに、装置の最初の設置の際又は処理条件の変更の際に共振コイル212のインピーダンスを微調整するため、共振コイル212の接地された両端の間には、可動タップ215によって給電部が構成される。
- [0032] 遮蔽板223は、共振コイル212の外側の電界を遮蔽するために設けられる。
- [0033] 主に、共振コイル212、RFセンサ272、整合器274により、本実施形態に係るプラズマ生成部が構成されている。尚、プラズマ生成部として

高周波電源 273 を含めても良い。

[0034] ここで、本実施形態に係る装置のプラズマ生成原理および生成されるプラズマの性質について図 2 を用いて説明する。

本実施形態におけるプラズマ生成部は、以下の通り、ICP (Inductively Coupled Plasma) 方式によりプラズマを生成するように構成されている。共振コイル 212 によって構成されるプラズマ発生回路は RLC の並列共振回路で構成される。上記プラズマ発生回路においては、プラズマを発生させた場合、共振コイル 212 の電圧部とプラズマとの間の容量結合の変動や、プラズマ生成空間 201a とプラズマとの間の誘導結合の変動、プラズマの励起状態、等により、実際の共振周波数は僅かながら変動する。

[0035] そこで、本実施形態においては、プラズマ発生時の共振コイル 212 における共振のずれを電源側で補償するため、プラズマが発生した際の共振コイル 212 からの反射波電力を RF センサ 272 において検出し、検出された反射波電力に基づいて整合器 274 が高周波電源 273 の出力を補正する機能を有する。

[0036] 具体的には、整合器 274 は、RF センサ 272 において検出されたプラズマが発生した際の共振コイル 212 からの反射波電力に基づいて、反射波電力が最小となる様に高周波電源 273 のインピーダンス或いは出力周波数を増加または減少させる。

[0037] 本実施形態における共振コイル 212 では、図 2 に示す様に、プラズマを含む当該共振コイルの実際の共振周波数による高周波電力が供給されるので（或いは、プラズマを含む当該共振コイルの実際のインピーダンスに整合するように高周波電力が供給されるので）、位相電圧と逆位相電圧が常に相殺される状態の定在波が形成される。共振コイル 212 の電氣的長さが高周波電力の波長と同じ場合、コイルの電氣的 midpoint（電圧がゼロのノード）に最も高い位相電流が生起される。従って、電氣的 midpoint の近傍においては、処理室壁やサセプタ 217 との容量結合が殆どなく、電氣的ポテンシャルの極めて

低いリング状の誘導プラズマが形成される。

[0038] かかる構成により、処理室201の外周に巻回するように共振コイル212が設けられている為、共振コイル212に高周波電力が供給されることにより、共振コイル212に近傍であって、処理室201の内周に沿った領域にリング状のプラズマが生成される。すなわち、このリング状のプラズマは処理室201内の外周領域内に生成される。特に本実施形態では、共振コイル212の電気的中点が位置する高さ、すなわち共振コイル212の上端と下端の中間高さ位置にこのリング状のプラズマが生成される。

[0039] (制御部)

制御部としてのコントローラ221は、信号線Aを通じてAPCバルブ242、バルブ243b及び真空ポンプ246を、信号線Bを通じてサセプタ昇降機構268を、信号線Cを通じてヒータ電力調整機構276及びインピーダンス可変機構275を、信号線Dを通じてゲートバルブ244を、信号線Eを通じてRFセンサ272、高周波電源273及び整合器274を、信号線Fを通じてMFC252a~252f及びバルブ253a~253f, 243a, 243cを、それぞれ制御するように構成されている。

[0040] 図3に示すように、制御部(制御手段)であるコントローラ221は、CPU(Central Processing Unit)221a、RAM(Random Access Memory)221b、記憶装置221c、I/Oポート221dを備えたコンピュータとして構成されている。RAM221b、記憶装置221c、I/Oポート221dは、内部バス221eを介して、CPU221a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221には、例えばタッチパネルやディスプレイ等として構成された入出力装置222が接続されている。

[0041] 記憶装置221c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221c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、後述する基板処理の手順や条件などが記載されたプログラムレシピ等が読み出し可能に格納されている。プ

プロセスレシピは、後述する基板処理工程における各手順をコントローラ 221 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、このプログラム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。なお、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、プログラム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、その両方を含む場合がある。また、RAM 221b は、CPU 221a 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。

[0042] I/Oポート 221d は、上述のMFC 252a～252f、バルブ 253a～253f、243a、243b、243c、ゲートバルブ 244、APCバルブ 242、真空ポンプ 246、RFセンサ 272、高周波電源 273、整合器 274、サセプタ昇降機構 268、インピーダンス可変機構 275、ヒータ電力調整機構 276、等に接続されている。

[0043] CPU 221a は、記憶装置 221c からの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 222 からの操作コマンドの入力等に応じて記憶装置 221c からプロセスレシピを読み出すように構成されている。そして、CPU 221a は、読み出されたプロセスレシピの内容に沿うように、I/Oポート 221d 及び信号線Aを通じてAPCバルブ 242の開度調整動作、バルブ 243bの開閉動作、及び真空ポンプ 246の起動・停止を、信号線Bを通じてサセプタ昇降機構 268の昇降動作を、信号線Cを通じてヒータ電力調整機構 276によるヒータ 217bへの供給電力量調整動作や、インピーダンス可変機構 275によるインピーダンス値調整動作を、信号線Dを通じてゲートバルブ 244の開閉動作を、信号線Eを通じてRFセンサ 272、整合器 274及び高周波電源 273の動作を、信号線Fを通じてMFC 252a～252fによる各種ガスの流量調整動作、及びバルブ 253a～253f、243a、243cの開閉動作、等を制御するように構成されている。

[0044] コントローラ 221 は、外部記憶装置（例えば、磁気テープ、フレキシブルディスクやハードディスク等の磁気ディスク、CDやDVD等の光ディスク、MOなどの光磁気ディスク、USBメモリやメモリカード等の半導体メモリ）223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 221c や外部記憶装置 223 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 221c 単体のみを含む場合、外部記憶装置 223 単体のみを含む場合、または、そ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 223 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。

[0045] (2) 基板処理工程

次に、本実施形態に係る基板処理工程について、主に図4を用いて説明する。図4は、本実施形態に係る基板処理工程を示すフロー図である。本実施形態に係る基板処理工程は、上述の基板処理装置 100 を用いて、例えばフラッシュメモリ等の半導体デバイスの製造工程の一工程として、シリコン（Si）含有膜が形成されたウエハ 200 の表面を酸化してシリコン酸化（SiO）膜を形成する方法の例について説明する。以下の説明において、基板処理装置 100 を構成する各部の動作は、コントローラ 221 により制御される。

[0046] (基板搬入工程 S110)

まず、上記のウエハ 200 を処理室 201 内に搬入して収容する。具体的には、サセプタ昇降機構 268 がウエハ 200 の搬送位置までサセプタ 217 を下降させる。その結果、ウエハ突き上げピン 266 が、サセプタ 217 表面よりも所定の高さ分だけ貫通孔 217a から突出した状態となる。

[0047] 続いて、ゲートバルブ 244 を開き、処理室 201 に隣接する真空搬送室から、ウエハ搬送機構（図示せず）を用いて処理室 201 内にウエハ 200 を搬入する。搬入されたウエハ 200 は、ウエハ突き上げピン 266 上に水平

姿勢で支持される。処理室201内にウエハ200を搬入したら、ゲートバルブ244を閉じて処理室201内を密閉する。そして、サセプタ昇降機構268がサセプタ217を上昇させることにより、ウエハ200はサセプタ217の上面に支持される。

[0048] (昇温・真空排気工程S120)

続いて、処理室201内に搬入されたウエハ200の昇温を行う。ヒータ217bは予め加熱されており、ヒータ217bが埋め込まれたサセプタ217上にウエハ200を保持することで、例えば150～750℃の範囲内の所定値にウエハ200を加熱する。ここでは、ウエハ200の温度が600℃となるよう加熱する。また、ウエハ200の昇温を行う間、真空ポンプ246によりガス排気管231を介して処理室201内を真空排気し、処理室201内の圧力を所定の値とする。真空ポンプ246は、少なくとも後述の基板搬出工程S160が終了するまで作動させておく。

[0049] (反応ガス供給工程S130)

次に、第1ガス供給部から処理室201の外周領域に、酸素を含有する酸化種源ガスである第1ガスとしてのO₂ガスとH₂ガスの混合ガスの供給を開始する。具体的には、バルブ253a及びバルブ253bを開け、MFC252a及びMFC252bにて流量制御しながら、ガス吹出口239を介して処理室201内へ第1ガスの供給を開始する。

[0050] MFC252a及びMFC252bにて流量制御を行うことにより、第1ガスの総流量および第1ガスの組成（特に水素の含有率）の少なくとも一方が調整される。本実施形態では、H₂ガスとO₂ガスの混合比（流量比）を変えて第1ガスの組成を容易に調整することが可能である。

[0051] このとき、第1ガスの総流量を、例えば1000～5000sccmとし、第1ガス中のO₂ガスの流量を、例えば20～2000sccm、好ましくは20～1000sccmの範囲内の所定値とする。また、第1ガス中のH₂ガスの流量を、例えば20～1000sccm、好ましくは20～500sccmの範囲内の所定値とする。第1ガスに含まれるH₂ガスとO₂ガスの含有

比率は、0 : 100 ~ 95 : 5 の範囲の所定の値とする。すなわち、 H_2 ガスの比率（第1ガスに含まれる水素の含有率）を0 ~ 95 % の範囲内の所定値とする。より具体的には、例えば、第1ガスの総流量を1000 sccm、 H_2 ガスと O_2 ガスの含有比率を10 : 90（水素の含有率10 %）とする。

[0052] 処理室201の外周領域であって、後述するプラズマ処理工程S140において形成されるリング状のプラズマが生成される領域に対して直接第1ガスを供給することが望ましい。

[0053] 同時に、第2ガス供給部から処理室201の中央領域に、水素濃度調整ガスである第2ガスとしての O_2 ガスと H_2 ガスの混合ガスの供給を開始する。具体的には、バルブ253d及びバルブ253eを開け、MFC252d及びMFC252eにて流量制御しながら、ガス供給リング300に設けられたガス吹出孔303を介して処理室201内へ第2ガスの供給を開始する。

[0054] MFC252d及びMFC252eにて流量制御を行うことにより、第2ガスの総流量および第2ガスの組成（特に水素の含有率）の少なくとも一方が調整される。第1ガスと同様に、 H_2 ガスと O_2 ガスの混合比を変えることで第2ガスの組成を容易に調整することが可能である。

[0055] このとき、第2ガスの総流量を、第1ガスの総流量と同等又はそれ以下であって、例えば100 ~ 5000 sccmとし、第2ガス中の O_2 ガスの流量を、例えば0 ~ 5000 sccm、好ましくは0 ~ 500 sccmの範囲内の所定値とする。また、第2ガス中の H_2 ガスの流量を、例えば0 ~ 5000 sccm、好ましくは0 ~ 500 sccmの範囲内の所定値とする。本実施形態では、第2ガスに含まれる H_2 ガスの比率（すなわち第1ガスの水素含有率）を0 ~ 100 % の範囲内の所定値とする。第2ガスの総流量は、第1ガスと同等、又はそれ以下であることが好ましい。第2ガスの流量が第1ガスの流量よりも大きい場合、処理室201内のプラズマ生成領域（後述）における H_2 ガスと O_2 ガスの濃度や含有比率が第2ガスによる影響を大きく受けるため、プラズマ生成領域におけるプラズマ励起の制御やプラズマにより生成される酸化種の生成制御などが困難となるためである。したがって、特に好

適な例としては、例えば、第2ガスの総流量は100 s c c m、 H_2 ガスと O_2 ガスの含有比率は20 : 80（水素含有率20%）とする。

[0056]（水素の濃度分布制御）

本工程においては、第1ガス、第2ガスのそれぞれについて、流量および水素含有率の少なくとも一方を制御することにより、処理室201内の水素濃度分布を制御することが可能である。水素濃度分布は、後述するプラズマ処理工程における酸化種の密度分布が所望のものとなるように制御される。

第2ガスの水素含有率は、第1ガスの水素含有率と異なるように調整されることが望ましい。第1ガスとは水素含有率が異なる第2ガスを用いることにより、第1ガスと第2ガスの流量をそれぞれ制御して、処理室201内の水素濃度分布を調整することが容易になる。第2ガスの水素含有率を第1ガスの水素含有率よりも高くして調整することもでき、第1ガスに含まれる水素の含有率よりも低くして調整することもできる。

[0057] 処理室201内の圧力は、例えば5～260 Paの範囲内の所定圧力となるように、APCバルブ242の開度を調整して処理室201内の排気を制御する。このように、処理室201内を適度に排気しつつ、後述のプラズマ処理工程S140の終了時まで第1ガスおよび第2ガスの供給を継続する。

[0058]（プラズマ処理工程S140）

処理室201内の圧力が安定したら、共振コイル212に対して高周波電源273から高周波電力の印加を開始する。これにより、 O_2 ガス及び H_2 ガスが供給されているプラズマ生成空間201a内に高周波電界が形成され、係る電界により、プラズマ生成空間の共振コイル212の電気的中点に相当する高さ位置に、最も高いプラズマ密度を有するリング状の誘導プラズマが励起される。プラズマ状の O_2 ガス及び H_2 ガスは解離し、Oを含むオラジカルやヒドロキシラジカル（OHラジカル）等の酸素ラジカル、原子状酸素（O）、オゾン（ O_3 ）、酸素イオン等の酸化種が生成される。

[0059] 本工程において、第1ガスは、プラズマが第1のプラズマ密度で生成される領域であるプラズマ生成領域に供給される。本実施形態では、共振コイル

212に近い処理室201内の外周領域内であって、リング状のプラズマが励起される領域であるプラズマ生成領域に対して第1ガスが供給され、主に第1ガスがプラズマ励起されることによって、上述の酸化種が生成される。

[0060] 一方、本工程において、第2ガスは、プラズマが第1のプラズマ密度よりも低い第2のプラズマ密度で生成される領域、又はプラズマが生成されない領域（第2のプラズマ密度が実質的に0である領域）であるプラズマ非生成領域に供給される。すなわち、第2ガスは、第1ガスとはプラズマの密度が異なる領域に供給される。本実施形態では特に、リング状のプラズマの内側に形成されるプラズマ非生成領域に第2ガスが供給される。

[0061] つまり本実施形態においては、処理室201の外周領域の少なくとも一部が、処理室201の内壁に沿ったリング状のプラズマが生成されるプラズマ生成領域となり、処理室201の中央領域が、プラズマ非生成領域となる。

[0062] （酸化種の密度分布制御）

ここで、プラズマによって生成された酸化種は、雰囲気中の水素と反応するとその酸化種としての能力（酸化能力）を失うか、又は低下させる（すなわち失活する）。そのため、酸化種が存在する雰囲気中の水素濃度に応じて、その雰囲気中における酸化種の密度（濃度）の減衰速度（減衰量）が変化する。水素濃度が高いほど酸化種の減衰量は増大し、水素濃度が低いほど酸化種の減衰量は低下する。

[0063] 本実施形態では、プラズマ生成領域で生成された酸化種がプラズマ非生成領域において拡散する際に、プラズマ非生成領域中の水素と反応して徐々に失活していく。したがって、プラズマ非生成領域で拡散する酸化種の密度は、当該領域内の水素濃度によってその減衰量が調整されうる。すなわち、プラズマ非生成領域における酸化種の密度分布は、当該領域内の水素濃度分布を制御することによって任意に調整されうる。

[0064] 具体的には、上述の反応ガス供給工程において、プラズマ非生成領域に主に供給される第2ガスの流量又は水素の含有率の少なくともいずれかを調整することにより、当該領域内におけるウエハ200の面内方向における水素

濃度分布を制御する。そして、この水素濃度分布を制御することにより、ウエハ２００の上方空間で拡散する酸化種の密度分布を調整する。このようにしてウエハ２００の面内方向における密度分布が調整された酸化種がウエハ２００表面に供給される。本実施形態におけるプラズマ非生成領域内における水素濃度分布の制御の仕方は、後述する本実施形態に係る実施例の説明において詳述する。

[0065] なお、プラズマ非生成領域における水素の濃度分布は、プラズマ生成領域からの距離、より具体的には、処理室２０１の外周から中央に向かう方向におけるリング状のプラズマが形成された領域からの距離に応じて制御される。

[0066] 外周領域において形成されたリング状のプラズマにより生成された酸化種は、ウエハ２００の外周から中心方向に向かってウエハ２００の処理面の上方領域（上方空間）で拡散されながらウエハ２００に供給される。本実施形態においては、リング状のプラズマが処理室２０１の内周方向において略均一な密度（強度）で形成され、そのプラズマにより生成される酸化種の密度も、処理室２０１の内周方向においては略均一とみなすことが可能である。したがって、処理室２０１の径方向（すなわちウエハ２００の径方向）におけるプラズマ生成領域からの距離に応じて水素の濃度分布に勾配をつけることによって、処理室２０１の内周方向において酸化種の密度分布を均一としながら、ウエハ２００の面内方向における酸化種の密度分布を任意の分布となるように制御することができる。

[0067] また、本実施形態では、密度分布が制御される酸化種の種類は特に限定されないが、処理室２０１内において電磁界により加速されずに拡散する酸素ラジカルや原子状酸素（ O ）の密度分布を制御するのに本実施形態は好適である。

[0068] その後、所定の処理時間、例えば１０～９００秒が経過したら、高周波電源２７３からの電力の出力を停止して、処理室２０１内におけるプラズマ放電を停止する。また、バルブ２５３ a, ２５３ b, ２５３ d, ２５３ e を閉

めて、第1ガス及び第2ガスの処理室201内への供給を停止する。以上により、プラズマ処理工程S140が終了する。

[0069] (真空排気工程S150)

第1ガス及び第2ガスの供給を停止したら、ガス排気管231を介して処理室201内を真空排気する。これにより、処理室201内の O_2 ガスや H_2 ガス、これらガスの反応により発生した排ガス等を処理室201外へと排気する。その後、APCバルブ242の開度を調整し、処理室201内の圧力を処理室201に隣接する真空搬送室と同じ圧力に調整する。

[0070] (基板搬出工程S160)

その後、サセプタ217をウエハ200の搬送位置まで下降させ、ウエハ突上げピン266上にウエハ200を支持させる。そして、ゲートバルブ244を開き、ウエハ搬送機構を用いてウエハ200を処理室201外へ搬出する。以上により、本実施形態に係る基板処理工程を終了する。

[0071] (3) 雰囲気中の水素濃度とプラズマからの距離と酸化種密度(酸化種濃度)との関係

図5は、ウエハ200上に生成されるプラズマを説明するための図である。上述のように、本実施形態に係るプラズマ生成部により生成されるプラズマは、共振コイル212に近い処理室201内の外周領域において、ウエハ200の外縁又はその外側の上方にリング状に形成される。この場合、ウエハ200の外周領域においてプラズマ密度(強度)が高くなり、ウエハ200が載置されている中央領域においてプラズマ密度が低くなるか、又は実質的に0となる。すなわち、プラズマの密度分布が、プラズマ生成空間201a内のウエハ200の面方向において不均一となる。具体的には、外周領域におけるプラズマの密度が、中央領域におけるプラズマの密度よりも高くなるようにプラズマが形成される。

[0072] そして、プラズマが形成されるウエハ200の外周領域において酸化種が生成され、中央領域において拡散されてウエハ200に到達し、成膜に寄与する。

[0073] 酸化種の発生源であるリング状のプラズマPはウエハ200の外周領域に偏っており、酸化種が拡散する過程において雰囲気中の水素（本実施形態では H_2 ガス）と反応して徐々に失活していく。したがって、酸化種の密度はプラズマPからの距離に応じて減少していく傾向となる。

[0074] <比較例>

図6は、酸化種が拡散するウエハ200の上方空間内（例えば中央領域内）における水素濃度分布を一様にした場合（比較例）における、プラズマからの距離と酸化種の密度との関係を示す図である。図6（A）～図6（C）におけるプラズマP1とプラズマP2はそれぞれ、図5に示されているように、ウエハ200の中心を挟んで互に対向する位置に生成されたプラズマPの一部である。

[0075] 比較例においては、図6（A）に示されているように、プラズマP1により生成される酸化種の密度は、ウエハ200の上方において、プラズマP1からの距離に従って凸の曲線形状に減少（減衰）する。また、図6（B）に示されるように、プラズマP1と対向する側のプラズマP2により生成される酸化種の密度も同様に、ウエハ200の上方において、プラズマP2からの距離に従って凸の曲線形状に減少する。ウエハ200の外縁又はその外側の上方に形成されるリング状のプラズマPにより生成されて拡散するウエハ200の上方における酸化種の密度の分布は、図6（C）に示されているように、図6（A）と図6（B）の酸化種の密度分布が足し合された結果となる。つまり、ウエハ200の中央上方において酸化種密度が高くなるため、ウエハ200の面内中央に対して相対的により多くの酸化種が供給されることとなり、結果として、ウエハ200上に凸形状に酸化膜が形成される。つまり、酸化種が拡散するウエハ200の上方空間内の雰囲気中の水素濃度を均一とすると、酸化種の密度分布がウエハの面内方向において不均一となることがある。

[0076] <本実施形態に係る実施例>

一方、本実施形態における基板処理装置100によれば、処理室201内

の水素の濃度分布を以下のように制御することにより、ウエハ200の面方向に不均一なプラズマによって生成された酸化種の密度分布がウエハの面内方向において均一になるようにすることができる。

[0077] ここで、図7は、酸化種が拡散する空間内の雰囲気中の水素濃度の分布を一様に5%にした場合と、水素濃度の分布を一様に20%にした場合における、のプラズマからの距離と、このプラズマにより生成される酸化種の密度との関係を示す図である。

[0078] 図7に示されているように、雰囲気中の水素濃度の分布を一様に5%とした場合、プラズマからの距離に対する酸化種の密度の減少の割合は比較的小さく、酸化種の密度分布は傾斜の小さい緩やかな曲線となる傾向がある。一方、雰囲気中の水素濃度を更に高くして、その分布を一様に20%とした場合、プラズマからの距離が大きくなるほど酸化種の密度の減少の割合は大きくなり、酸化種の密度分布は傾斜の大きい、上に凸の曲線形状となる傾向がある。

[0079] また、図8は、酸化種が拡散する空間内の水素濃度分布をプラズマからの距離に応じて調整することにより、酸化種の密度分布を制御する例を示す図である。図8における破線は、酸化種が拡散する空間内の水素濃度を一様に10%とした場合（調整前）の酸化種の密度とプラズマからの距離との関係を示している。また実線は、酸化種が拡散する空間内の水素濃度の分布を破線の場合（調整前）から調整した場合（調整後）における、酸化種の密度とプラズマからの距離との関係を示している。破線で示される調整前の例では、プラズマからの距離に対する酸化種の密度分布が上に凸な曲線状となる。

[0080] ここで、図7を用いて上述したように、プラズマからの距離に対して酸化種の密度が減少する割合は、水素濃度が高い空間においては、低い空間における場合よりも相対的に大きくなる。そこで、実線で示される調整後の例では、酸化種が拡散する空間内の特定の領域に対して、水素濃度調整ガスである水素濃度の異なる他のガスを供給することにより、酸化種の密度分布がプラズマからの距離に対して直線状（線形）になるように調整する。

- [0081] より具体的には、この調整後の例では、酸化種が拡散する空間内に配置されたウエハ200の中心付近の上方空間（以下、ウエハ中心上方空間と称する）に対して、局所的に水素濃度調整ガスとして水素濃度が20%のガスを供給する。これにより、ウエハ中心上方空間における水素濃度を局所的に増加させるとともに、ウエハ中心上方空間から離れるにしたがって水素濃度が低くなるように水素濃度の分布に勾配を付ける。そして、プラズマからの距離に対する酸化種の密度分布が直線状（線形）になるように、ウエハ中心上方空間における水素濃度や、ウエハ中心上方空間から離れるにしたがって変化する水素濃度の勾配が調整される。これらの調整は、たとえば水素濃度調整ガスの水素濃度および流量の少なくとも一方を制御することにより行うことができる。
- [0082] 以下、本実施形態における基板処理装置100の装置形態に即して本実施例をより具体的に説明する。
- [0083] 図9（A）～図9（C）は、本実施形態における基板処理装置100を用いて、処理室201内における水素濃度分布を調整した場合のプラズマからの距離と酸化種密度との関係を示す図である。本実施例では、上述した基板処理工程における反応ガス供給工程S130において、外周領域に供給される酸化種源ガスとしての第1ガス中の水素含有比率を10%、中央領域に供給される水素濃度調整ガスとしての第2ガス中の水素含有比率を20%とした。
- [0084] ここで、第2ガスはガス供給リング300に設けられたガス吹出孔303の直下の空間に対して供給される。当該直下の空間は上述したウエハ中心上方空間に相当するものとして考えることができる。すなわち、本実施例では、第1ガスよりも水素含有比率の高い第2ガスを局所的に供給することによって、当該直下の空間における水素濃度を局所的に増加させる。また、当該直下の空間から離れるにしたがって水素濃度が低くなるように（すなわち第1ガスの水素濃度である10%に近づいていくように）水素濃度の分布に勾配を付ける。

[0085] これらの水素濃度分布の調整は、主に第2ガスの流量および水素含有比率の少なくとも一方を制御することにより行うことができる。また、第2ガスの流量や水素含有比率に加えて、第1ガスの流量および水素含有比率の少なくとも一方を制御することにより調整を行うことが望ましい。また、第1ガスおよび第2ガスの少なくとも一方の供給流速や供給方向を調整することにより調整を行うこともできる。

[0086] 図9（A）に示されているように、本実施例では、プラズマP1により生成された酸化種の密度分布が、ウエハ200の上方において、プラズマP1からの距離が大きくなるにつれて直線状に減衰するように、水素濃度分布の調整が行われる。また、図9（B）に示されるように、本実施例では、プラズマP1と対向する側のプラズマP2により生成された酸化種の密度分布がウエハ200上方において、プラズマP2からの距離が大きくなるにつれて直線状に減衰するように、水素濃度分布の調整が行われる。図9（C）に示されているように、プラズマP1とプラズマP2を含むリング状のプラズマPにより生成される酸化種のウエハ200の上方における密度分布は、図9（A）と図9（B）の酸化種の密度分布が足し合された結果となる。したがって、リング状のプラズマPにより生成される酸化種のウエハ200の上方における密度分布は、ウエハ200の面内方向において平らで均一となり、ウエハ200の処理面に対して面内方向で均一となるように酸化種が供給される。すなわち、ウエハ200上に面内均一性のよい酸化膜を形成することができる。

[0087] このように、上述した基板処理装置100を用いて、酸化種密度の減衰特性が線形となるように、処理室201中央（ウエハ200中央）付近における第2ガス中の水素濃度を高くする。つまり、中央領域に供給される第2ガス中の水素濃度を、外周領域に供給される第1ガス中の水素濃度よりも高くして処理室201内における水素濃度分布を調整して水素濃度分布に勾配をつけることにより、ウエハの面内方向に均一な膜を形成することが可能となる。

[0088] すなわち、処理室201内の第1ガスと第2ガスの供給流量や混合比、水素の含有率等を調整することで、処理室201内の水素濃度の分布を調整することができる。すなわち、処理室201内の水素の濃度分布を調整することで、ウエハ200に供給される酸化種の密度分布（濃度分布）を任意の分布となるように制御することが可能となる。

[0089] <本開示の他の実施形態>

上述の実施形態では、処理室201内の水素濃度分布を調整することで、ウエハ200の上方における酸化種の密度分布をウエハ200の面内方向において均一になるように制御する例について説明した。しかしこれに限らず、上述した基板処理装置100及び基板処理工程によりウエハ200の上方における酸化種の密度分布が、ウエハ200の面内方向において中央凸形状となるように処理室201内の水素の濃度分布を制御することもできる。また、ウエハ200の上方における酸化種の密度分布が、ウエハ200の面内方向において中央凹形状となるように処理室201内の水素の濃度分布を制御することもできる。すなわち、本開示の技術によれば、ウエハ200の処理面に対して供給される酸化種の面内分布を、均一な分布、中央凸状分布、中央凹状分布、等の任意の分布となるよう制御することが可能となる。

[0090] また、上述の実施形態では、第2ガス中の水素の含有率を第1ガス中の水素の含有率よりも高くする例について説明したが、これに限らず、第2ガス中の水素含有率を第1ガス中の水素含有率よりも低くなるように制御してもよい。これにより、処理室201内の中央領域の水素濃度を外周領域に比べて低くして、中央領域の酸化種の減衰を抑制するように酸化種の密度分布を調整することも可能となる。つまり、ウエハ200の面内方向における酸化種の密度分布を、均一な分布を中央凸分布とする、又は中央凹分布を均一な分布に近づけるように処理室内の水素濃度分布を調整することができる。第1ガスと第2ガスとの水素の含有率が異なるように制御することにより、酸化種の密度分布を制御することが可能となる。

[0091] また、上述の実施形態では、処理室201内のプラズマ生成領域とプラズ

マ非生成領域のそれぞれに酸化種源ガスとしての第1ガスと水素濃度調整ガスとしての第2ガスを供給して、処理室201内の水素濃度分布を調整する例について説明した。しかし本開示における技術は、これに限らず、プラズマ生成空間内のプラズマ密度が不均一である（すなわち偏りがある）場合に好適に用いることができる。このような場合においては、プラズマ密度の偏りに起因して、プラズマにより生成される酸化種の密度分布にも偏りが生じるため、処理室内における酸化種の密度分布を所望の分布（特にウエハの面内方向において均一な分布）に調整することが求められる。そこで、本開示における技術によれば、処理室内のプラズマ密度の分布に応じて、酸化種源ガスとは別に水素濃度調整ガスを処理室内に個別に供給し、処理室内の水素濃度分布を調整することで、酸化種の密度分布を所望の分布となるように制御することができる。

[0092] また、上述の実施形態では、プラズマを用いて基板表面に対して酸化処理を行う例について説明したが、これらの処理に限らず、プラズマを用いて基板に対して処理を施すあらゆる技術に適用することができる。例えば、プラズマを用いて行う基板表面に形成された膜に対する改質処理やドーピング処理、酸化膜の還元処理、当該膜に対するエッチング処理、レジストのアッシング処理、等に適用することができる。

[0093] また、上述の実施形態では、処理室201の外周領域の他に中央領域に水素濃度調整ガスを供給する1つのガス供給部を設ける例について説明したが、これに限らず、処理室201の中央領域に対して水素濃度調整ガスを供給する複数のガス供給部を設け、供給される水素濃度調整ガスの流量及びガス混合比（水素含有比率）の少なくとも一方を個別に制御するようにしてもよい。これにより、中央領域内における水素濃度分布をより細かく（制御性良く）調整することができる。

[0094] また、プラズマが円周方向に均一に形成されない場合には、円周方向における酸化種密度の偏りを補正するように、円周方向の特定の位置に対して水素濃度調整ガスを供給するガス供給部を更に設けるようにしてもよい。

[0095] また、上述の実施形態では、処理室 201 の外周領域の他に中央領域に 1 つのリング形状のガスノズルを設けることにより、水素の濃度分布を調整する例について説明したが、これに限らず、他の種々の形状のノズルを 1 又は複数設けるようにしてもよい。

[0096] また、上述の実施形態では、第 1 ガスと第 2 ガスを同時供給する例を用いて説明したが、これに限らず、異なるタイミングで供給してもよい。

[0097] また、上述の実施形態では、ICP 方式の基板処理装置を用いる例について説明したが、これに限らず、例えば MMT (Modified Magnetron Typed) 方式の基板処理装置等に適用することができる。

符号の説明

[0098] 100 基板処理装置
 200 ウエハ
 201 処理室
 221 コントローラ

請求の範囲

- [請求項1] 基板を処理室内に収容する工程と、
 前記処理室内に酸素を含有する第1ガスを供給する工程と、
 前記第1ガスを励起して前記処理室内にプラズマを生成する工程と、
 、
 前記処理室内に水素を含有する第2ガスを供給し、前記プラズマの
 前記処理室内における密度分布に応じて前記処理室内における水素の
 濃度分布を調整する工程と、
 前記プラズマにより生成された酸化種により前記基板を処理する工
 程と、
 を有する半導体装置の製造方法。
- [請求項2] 前記プラズマを生成する工程では、前記プラズマは、前記プラズマ
 の前記処理室内における密度分布が前記基板の面方向において不均一
 となるように生成される請求項1記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項3] 前記第1ガスを供給する工程では、前記第1ガスは、処理室内の第
 1の領域に供給され、
 前記処理室内における水素の濃度分布を調整する工程では、前記第
 2ガスは、前記基板の処理面の上方領域であって、且つ前記第1の領
 域とは前記基板の面方向において異なる領域である第2の領域に供給
 される請求項1又は2記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項4] 前記第1ガスを供給する工程では、前記第1ガスは前記プラズマが
 生成されるプラズマ生成領域に供給され、
 前記処理室内における水素の濃度分布を調整する工程では、前記第
 2ガスは前記プラズマが生成されないプラズマ非生成領域に供給され
 る請求項1又は2記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項5] 前記プラズマ非生成領域における水素の濃度分布は、前記プラズマ
 生成領域からの距離に応じて調整される請求項4記載の半導体装置の
 製造方法。

- [請求項6] 前記第2ガスの供給流量を調整することにより、前記処理室内における水素の濃度分布を制御する請求項1～5のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項7] 前記第2ガスの水素の含有率を調整することにより、前記処理室内における水素の濃度分布を制御する請求項1～5のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項8] 前記処理室内の空間は、前記処理室の内壁に沿った外周領域と、前記外周領域に囲まれた中央領域を有し、前記外周領域における前記プラズマの密度が、前記中央領域における前記プラズマの密度よりも高くなるように前記プラズマが生成される請求項1～7のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項9] 前記外周領域には前記処理室の内壁に沿ったリング状のプラズマが生成される請求項8記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項10] 前記処理室内における水素の濃度分布を調整する工程では、前記基板に供給される前記酸化種の密度分布が、前記基板の面上において面方向に均一となるように前記処理室内における水素の濃度分布が調整される請求項1～9のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項11] 前記第1ガスは酸素ガスと水素ガスの混合ガスである請求項1～10のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項12] 前記第2ガスは酸素ガスと水素ガスの混合ガスである請求項1～11のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項13] 基板を収容する処理室と、
前記処理室内に酸素を含有する第1ガスを供給する第1ガス供給系と、
前記処理室内に水素を含有し、前記第1ガスとは水素の含有率が異なる第2ガスを供給する第2ガス供給系と、
前記処理室内のガスを励起するプラズマ生成部と、を有し、
前記第1ガス供給系は、プラズマが第1のプラズマ密度で生成され

る前記処理室内の第 1 の領域に前記第 1 ガスを供給するように構成され、

前記第 2 ガス供給系は、前記プラズマが前記第 1 のプラズマ密度よりも低い第 2 のプラズマ密度で生成される前記処理室内の第 2 の領域に前記第 2 ガスを供給するよう構成された、

基板処理装置。

[請求項14] 前記第 2 の領域は、前記基板の処理面の上方領域であって、且つ前記第 1 の領域とは前記基板の面方向において異なる領域である請求項 1 3 記載の基板処理装置。

[請求項15] 前記第 2 の領域は、前記プラズマが生成されない領域である請求項 1 3 又は 1 4 記載の基板処理装置。

[請求項16] 基板を基板処理装置の処理室内に収容する手順と、
前記処理室内に酸素を含有する第 1 ガスを供給する手順と、
前記第 1 ガスを励起して前記処理室内にプラズマを生成する手順と、
、

前記処理室内に水素を含有する第 2 ガスを供給し、前記プラズマの前記処理室内における密度分布に応じて前記処理室内における水素の濃度分布を調整する手順と、

前記プラズマにより生成された酸化種により前記基板を処理する手順と、

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。