

明 細 書

発明の名称：

半導体装置の製造方法、基板処理方法、基板処理装置、およびプログラム
技術分野

[0001] 本開示は、半導体装置の製造方法、基板処理方法、基板処理装置、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、基板上に形成された凹状構造の内表面に酸化層を形成する処理が行われることがある（例えば特許文献１）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献１：国際公開２０１６／１２５６０６号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本開示の目的は、基板上に形成された凹状構造の内表面に形成される酸化層の厚さを所望の厚さの分布と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

[0005] 本開示の一態様によれば、

（ａ）基板上に形成された凹状構造の内表面を窒化し、前記内表面の少なくとも一部を窒化層に改質する工程と、

（ｂ）前記窒化層を含む前記内表面を酸化し、前記内表面を酸化層に改質する工程と、

を有し、

（ａ）では、前記内表面における前記窒化層の厚さの分布を、前記内表面における前記酸化層の厚さの分布が所望の分布になるような分布とする技術

が提供される。

発明の効果

[0006] 本開示によれば、基板上に形成された凹状構造の内表面に形成される酸化層の厚さを所望の厚さの分布と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

[0007] [図1]図1は、本開示の一態様で好適に用いられる基板処理装置100の概略構成図であり、処理炉202部分を縦断面図で示す図である。

[図2]図2は、本開示の一態様で好適に用いられる基板処理装置100におけるプラズマ生成原理を説明する説明図である。

[図3]図3は、本開示の一態様で好適に用いられる基板処理装置100が備えるコントローラ221の概略構成図であり、コントローラ221の制御系をブロック図で示す図である。

[図4]図4(a)は、トレンチ301が設けられたウエハ200の断面部分拡大図である。図4(b)は、トレンチ301の内表面の少なくとも一部を窒化層401に改質した後のウエハ200の断面部分拡大図である。図4(c)は、窒化層401を含むトレンチ301の内表面を酸化層402に改質している過程におけるウエハ200の断面部分拡大図である。図4(d)は、窒化層401を含むトレンチ301の内表面を酸化層402に改質した後のウエハ200の断面部分拡大図である。

発明を実施するための形態

[0008] <本開示の一態様>

以下、本開示の一態様について、主に、図1～図3、図4(a)～図4(d)を参照しつつ説明する。なお、以下の説明において用いられる図面は、いずれも模式的なものであり、図面に示される、各要素の寸法の関係、各要素の比率等は、現実のものとは必ずしも一致していない。また、複数の図面の相互間においても、各要素の寸法の関係、各要素の比率等は必ずしも一致していない。

[0009] (1) 基板処理装置の構成

図1に示すように、基板処理装置100は、基板としてのウエハ200を収容してプラズマ処理する処理炉202を備えている。処理炉202は、処理室201を構成する処理容器203を備えている。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が形成されている。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)等の非金属材料により構成されており、下側容器211は、例えばアルミニウム(Al)により構成されている。

[0010] 下側容器211の下部側壁には、搬入出口(仕切弁)としてのゲートバルブ244が設けられている。ゲートバルブ244は、開くことにより、搬入出口245を介して、処理室201内外へウエハ200を搬入出することができる。ゲートバルブ244を閉じることにより、処理室201内の気密性を保持することができる。

[0011] 図2に示すように、処理室201は、プラズマ生成空間201aと、プラズマ生成空間201aに連通し、ウエハ200が処理される基板処理空間201bと、を有している。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201の内、例えば共振コイル212の下端(図1における一点鎖線)より上方の空間をいう。一方、基板処理空間201bは基板がプラズマで処理される空間であって、共振コイル212の下端より下方の空間をいう。

[0012] 処理室201の底側中央には、ウエハ200を載置する基板載置部としてのサセプタ217が配置されている。サセプタ217は例えば窒化アルミニウム(AlN)、セラミックス、石英等の非金属材料により構成されている。

[0013] サセプタ217の内部には、加熱機構としてのヒータ217bが一体的に埋め込まれている。ヒータ電力調整機構276を介してヒータ217bに電

力が供給されることにより、ウエハ２００表面を、例えば２５℃～１０００℃の範囲内の所定の程度まで加熱することができる。

[0014] サセプタ２１７は、下側容器２１１とは電氣的に絶縁されている。サセプタ２１７内部にはインピーダンス調整電極２１７ｃが装備されている。インピーダンス調整電極２１７ｃは、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２７５を介して接地されている。インピーダンス可変機構２７５は、コイルや可変コンデンサ等を備えており、コイルのインダクタンス、抵抗、可変コンデンサの容量値等を制御することにより、インピーダンス調整電極２１７ｃのインピーダンスを約０Ωから処理室２０１の寄生インピーダンス値の範囲内で変化させることが可能な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２１７ｃ及びサセプタ２１７を介して、プラズマ処理中のウエハ２００の電位（バイアス電圧）を制御することが可能となる。

[0015] サセプタ２１７の下方には、サセプタを昇降させるサセプタ昇降機構２６８が設けられている。サセプタ２１７には、貫通孔２１７ａが設けられている。下側容器２１１の底面には、ウエハ２００を支持する支持体としての支持ピン２６６が設けられている。貫通孔２１７ａと支持ピン２６６と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、支持ピン２６６がサセプタ２１７とは非接触な状態で、貫通孔２１７ａを突き抜けるようになっている。これにより、ウエハ２００を下方から保持することが可能となる。

[0016] 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、を処理室２０１内へガスを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機能する。

- [0017] ガス導入口234には、窒素含有ガスを供給するガス供給管232aの下流端と、酸素含有ガスを供給するガス供給管232bの下流端と、不活性ガスを供給するガス供給管232cと、が合流するように接続されている。ガス供給管232aには、上流側から順に、窒素含有ガス供給源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。ガス供給管232bには、上流側から順に、酸素含有ガス供給源250b、流量制御装置としてのMFC252b、開閉弁としてのバルブ253bが設けられている。ガス供給管232cには、上流側から順に、不活性ガス供給源250c、流量制御装置としてのMFC252c、開閉弁としてのバルブ253cが設けられている。ガス供給管232aとガス供給管232bと供給管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~253c、243aを開閉させることによって、MFC252a~252cによりそれぞれのガスの流量を調整しつつ、ガス供給管232a、232b、232cを介して、窒素含有ガス、酸素ガス含有ガス、不活性ガスのそれぞれ処理室201内へ供給することができる。
- [0018] 主に、ガス供給ヘッド236(蓋体233、ガス導入口234、バッファ室237、開口238、遮蔽プレート240、ガス吹出口239)、ガス供給管232a、MFC252a、バルブ253a、243aにより、窒素含有ガス供給系が構成される。また、主に、ガス供給ヘッド236、ガス供給管232b、MFC252b、バルブ253b、243aにより、酸素含有ガス供給系が構成される。また、主に、ガス供給ヘッド236、ガス供給管232c、MFC252c、バルブ253c、243aにより、不活性ガス供給系が構成される。
- [0019] 下側容器211の側壁には、処理室201内を排気する排気口235が設けられている。排気口235には、排気管231の上流端が接続されている。排気管231には、上流側から順に、圧力調整器(圧力調整部)としてのAPC(Auto Pressure Controller)バルブ24

2、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。

[0020] 主に、排気口235、排気管231、APCバルブ242、バルブ243bにより、排気部が構成されている。真空ポンプ246を排気部に含めてもよい。

[0021] 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、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(Radio Frequency)センサ272、高周波電源273および周波数整合器274(周波数制御部)が接続されている。共振コイル212の外周側には、遮蔽板223が設けられている。

[0022] 高周波電源273は、共振コイル212に対して高周波電力を供給するよう構成されている。RFセンサ272は、高周波電源273の出力側に設けられている。RFセンサ272は、高周波電源273から供給される高周波電力の進行波や反射波の情報をモニタするよう構成されている。周波数整合器274は、RFセンサ272でモニタされた反射波電力の情報に基づいて、反射波が最小となるよう、高周波電源273から出力される高周波電力の周波数を整合させるよう構成されている。

[0023] 共振コイル212の両端は、電気的に接地されている。共振コイル212の一端は、可動タップ213を介して接地されている。共振コイル212の他端は、固定グラウンド214を介して接地されている。共振コイル212のこれら両端の間には、高周波電源273から給電を受ける位置を任意に設定できる可動タップ215が設けられている。

[0024] 主に、共振コイル212、RFセンサ272、周波数整合器274により、上述の窒素含有ガス供給系および酸素含有ガス供給系から供給されるガスのそれぞれを励起する励起部(プラズマ生成部)が構成されている。高周波電源273や遮蔽板223を励起部に含めてもよい。

[0025] 以下、励起部の動作や生成されるプラズマの性質について、図2を用いて

補足する。

- [0026] 共振コイル 212 は、高周波誘導結合プラズマ（ICP）電極として機能するよう構成されている。共振コイル 212 は、所定の波長の定在波を形成し、全波長モードで共振するように、その巻径、巻回ピッチ、巻数等が設定される。共振コイル 212 の電氣的長さ、すなわち、アース間の電極長は、高周波電源 273 から供給される高周波電力の波長の整数倍の長さとなるように調整される。これらの構成や、共振コイル 212 に対して供給される電力、および、共振コイル 212 で発生させる磁界強度等は、基板処理装置 100 の外形や処理内容などを勘案して適宜決定される。一例として、共振コイル 212 のコイル直径は 200～500 mm とされ、コイルの巻回数は 2～60 回とされる。
- [0027] 高周波電源 273 は、電源制御手段と増幅器とを備えている。電源制御手段は、操作パネルを通じて予め設定された電力や周波数に関する出力条件に基づいて、所定の高周波信号（制御信号）を増幅器に対して出力するよう構成されている。増幅器は、電源制御手段から受信した制御信号を増幅することで得られた高周波電力を、伝送線路を介して共振コイル 212 に向けて出力するよう構成されている。
- [0028] 周波数整合器 274 は、反射波電力に関する電圧信号を RF センサ 272 から受信し、反射波電力が最小となるように、高周波電源 273 が出力する高周波電力の周波数（発振周波数）を増加または減少させるような補正制御を行う。
- [0029] 以上の構成により、プラズマ生成空間 201 a 内に励起される誘導プラズマは、処理室 201 の内壁やサセプタ 217 等との容量結合が殆どない良質なものとなる。プラズマ生成空間 201 a 中には、電氣的ポテンシャルの極めて低い、平面視がドーナツ状のプラズマが生成されることとなる。
- [0030] 図 3 に示すように、制御部としてのコントローラ 221 は、CPU（Central Processing Unit）221 a、RAM（Random Access Memory）221 b、記憶装置 221 c、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、入出力装置225として、例えばタッチパネル、マウス、キーボード、操作端末等が接続されていてもよい。コントローラ221には、表示部として、例えばディスプレイ等が接続されていてもよい。

[0031] 記憶装置221cは、例えばフラッシュメモリ、HDD(Hard Disk Drive)、CD-ROM等で構成されている。記憶装置221c内には、基板処理装置100の動作を制御する制御プログラム、基板処理の手順や条件など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、後述する基板処理工程における各手順を、コンピュータとして構成されたコントローラ221により基板処理装置100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。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、プロセス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。RAM221bは、CPU221a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。

[0032] I/Oポート221dは、上述のMFC252a~252c、バルブ253a~253c、243a、243b、ゲートバルブ244、APCバルブ242、真空ポンプ246、ヒータ217b、RFセンサ272、高周波電源273、周波数整合器274、サセプタ昇降機構268、インピーダンス可変機構275等に接続されている。

[0033] CPU221aは、記憶装置221c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225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、図1に示すように、CPU221aは、読み出し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による温度センサに基づくヒータ217bへの供給電力量調整動作（温度調整動作）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、周波数整合器274及び高周波電源273の動作を、信号線Fを通じてMFC252a～252cによる各種ガスの流量調整動作、及びバルブ253a～253c、243aの開閉動作を、それぞれ制御することが可能なように構成されている。

[0034] なお、コントローラ221は、専用のコンピュータとして構成されている場合に限らず、汎用のコンピュータとして構成されていてもよい。例えば、上述のプログラムを格納した外部記憶装置（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等の光磁気ディスク、USBメモリやメモ리카ード等の半導体メモリ）226を用意し、かかる外部記憶装置226を用いて汎用のコンピュータにプログラムをインストールすること等により、本実施形態に係るコントローラ221を構成することができる。なお、コンピュータにプログラムを供給するための手段は、外部記憶装置226を介して供給する場合に限らない。例えば、インターネットや専用回線等の通信手段を用い、外部記憶装置226を介さずにプログラムを供給するようにしてもよい。なお、記憶装置221cや外部記憶装置226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る。以下、これらを総称して、単に記録媒体ともいう。なお、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226単体のみを含む場合、または、その両方を含む場合がある。

[0035] （2）基板処理工程

上述の基板処理装置１００を用い、半導体装置の製造工程の一工程として、基板としてのウエハ２００を処理する基板処理シーケンス例、具体的には、ウエハ２００の表面に形成された凹状構造の内表面に酸化層を形成するシーケンス例について、主に図４（ａ）、図４（ｂ）、図４（ｃ）、図４（ｄ）を用いて説明する。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。

- [0036] 本態様における基板処理シーケンスでは、
ウエハ２００上に形成された凹状構造の内表面を窒化し、内表面の少なくとも一部を窒化層に改質するステップａと、
窒化層を含む内表面を酸化し、内表面を酸化層に改質するステップｂと、を実施する。
- [0037] なお、ステップａでは、内表面における窒化層の厚さの分布を、内表面における酸化層、すなわち、ステップｂを行うことで形成される酸化層の厚さの分布が所望の分布になるような分布とする。
- [0038] 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。
- [0039] （ウエハ搬入）

サセプタ２１７を所定の搬送位置まで降下させた状態で、ゲートバルブ２４４を開き、処理対象のウエハ２００を、搬送ロボット（図示せず）により処理室２０１内へ搬入する。処理室２０１内へ搬入されたウエハ２００は、

サセプタ 217 の表面から突出した支持ピン 266 上に水平姿勢で支持される。処理室 201 内へのウエハ 200 の搬入が完了した後、処理室 201 内から搬送ロボットのアーム部を退去させ、ゲートバルブ 244 を閉じる。その後、サセプタ 217 を所定の処理位置まで上昇させ、処理対象のウエハ 200 を、支持ピン 266 上からサセプタ 217 上へと移載させる。なお、ウエハ搬入は、処理室 201 内を不活性ガス等でパージしながら行ってもよい。

[0040] なお、処理対象のウエハ 200 の表面には、上述したように、トレンチやホールなどの凹状構造が予め形成されている。本態様では、図 4 (a) に示すように、ウエハ 200 の表面に、凹状構造として、トレンチ 301 が予め形成されている例について説明する。なお、本態様におけるトレンチ 301 の内表面は、一例として、Si 単体（単結晶 Si、多結晶 Si、またはアモルファスシリコン）からなる Si 層により構成されているものとする。

[0041] （圧力調整および温度調整）

続いて、処理室 201 内が所望の処理圧力となるように、真空ポンプ 246 によって真空排気される。処理室 201 内の圧力は圧力センサで測定され、この測定された圧力情報に基づき APC バルブ 242 がフィードバック制御される。また、ウエハ 200 が所望の処理温度となるように、ヒータ 217 b によって加熱される。処理室 201 内が所望の処理圧力となり、また、ウエハ 200 の温度が所望の処理温度に到達して安定したら、後述する窒化処理を開始する。真空ポンプ 246 は、後述するウエハ搬出が終了するまで作動させておく。

[0042] その後、次のステップ a, b を順次実行する。

[0043] [ステップ a : 窒化処理]

ステップ a では、処理室 201 内のウエハ 200 に対して窒素含有ガスをプラズマで励起させて供給する。

[0044] 具体的には、バルブ 253 a を開き、ガス供給管 232 a 内へ窒素含有ガスを流す。窒素含有ガスは、MFC 252 a により流量調整され、バッファ

室237を介して処理室201内へ供給され、排気口235より排気される。このとき、ウエハ200の上方から、ウエハ200に対して窒素含有ガスが供給される（窒素含有ガス供給）。このとき、バルブ243cを開き、バッファ室237を介して処理室201内へ不活性ガスを供給するようにしてもよい。

[0045] このとき、共振コイル212に対して、高周波電源273から高周波（RF）電力を印加する。これにより、プラズマ生成空間201a内における共振コイル212の上下の接地点及び電気的中点に相当する高さ位置にそれぞれ、平面視がドーナツ状である誘導プラズマが励起される。誘導プラズマの励起により、窒素含有ガスが活性化され、窒化種が生成される。窒化種には、励起状態のN原子（N*）、および、イオン化されたN原子のうち、少なくともいずれかが含まれる。なお、*はラジカルを意味する。以下の説明でも同様である。また、窒素含有ガスとして水素（H）を含有するガスを用いた場合、窒化種には更に、励起状態のNH基（NH*）、および、N及びHを含むイオンのうち、少なくともいずれかが含まれる。さらに、この場合、励起状態のH原子（H*）や、イオン化されたH原子等の反応種も生成されることがある。これらの反応種を窒化種の一部として捉えることもできる。

[0046] 本ステップにおける処理条件としては、

処理温度：室温～1000℃、好ましくは650～900℃

処理圧力：1～100Pa、好ましくは3～10Pa

窒素含有ガス供給流量：0.1～10slm、好ましくは0.15～0.5slm

窒素含有ガス供給時間：10～600秒、好ましくは20～50秒

不活性ガス供給流量：0～10slm

RF電力：100～5000W、好ましくは500～3500W

RF周波数：800kHz～50MHz

が例示される。

[0047] なお、本明細書における「650～900℃」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。よって、例えば、「650～900℃」とは「650℃以上900℃以下」を意味する。他の数値範囲についても同様である。また、本明細書における処理温度とはウエハ200の温度または処理室201内の温度のことを意味し、処理圧力とは処理室201内の圧力のことを意味する。また、ガス供給流量：0 s l mとは、そのガスを供給しないケースを意味する。これらは、以下の説明においても同様である。

[0048] 上述の処理条件下でウエハ200に対して窒素含有ガスをプラズマで励起させて供給することにより、トレンチ301の内表面に対して窒化種が供給される。供給された窒化種により、トレンチ301の内表面が窒化され、内表面の少なくとも一部が窒化層401に改質される（図4（b）参照）。

[0049] 窒化層401の厚さ分布は、一例として、トレンチ301の開口部301 aから底部301 bに向かうにしたがって徐々に薄くなるような分布とすることができる（図4（b）参照）。また一例として、トレンチ301の開口部301 a付近の内表面は窒化層401に改質された状態とし、底部301 b付近の内表面は窒化層401に改質されていない状態とすることができる（図4（b）参照）。窒化層401の厚さの分布をこのような分布とすることができるのは、トレンチ301の内表面に供給された窒化種が、開口部301 a付近の内表面と優先的に反応して消費され、窒化種の供給量が、開口部301 aから底部301 bに向かうにしたがって、徐々に減少するためである。また、トレンチ301の内表面に供給された窒化種が、開口部301 a付近から底部301 bへ移動する間に失活し、窒化種の供給量が、開口部301 aから底部301 bに向かうにしたがって、徐々に減少するためでもある。

[0050] なお、トレンチ301の開口部301 aにおける窒化層401の厚さは、例えば、1～3 nmとすることができる。窒化層401の厚さは、その大きさ（薄さ）に拠らず、後述するように、ステップbにおいて酸化レートを制御（抑制）する効果を有する。ただし、酸化レートを制御（抑制）する効果

を顕著に得るためには、窒化層401の厚さを1 nm以上とすることが好ましい。当該厚さが1 nm未満である場合、ステップbにおける当該効果を十分に得られないことがある。

[0051] なお、本ステップでは、窒化層401の厚さの分布を確実に上述の分布とするため、処理圧力を、比較的高い圧力としている。具体的には、ステップaを行うことで形成される窒化層401の厚さ分布がトレンチ301の内表面の全面において均一な厚さ分布となるような処理圧力を「第1圧力」とする場合において、処理圧力を、この第1圧力よりも高い第2圧力とするようにしている。処理圧力をこのように高めることにより、処理室201内における窒化種の平均自由行程を短くし、窒化種がトレンチ301の底部301b付近に到達する確率を低下させることができる。その結果、窒化層401の厚さ分布を、トレンチ301の開口部301aから底部301bに向かうにしたがって徐々に薄くなるような分布とすることが、より確実にできることになる。

[0052] 上述の窒化処理が完了した後、バルブ253aを閉じ、処理室201内への窒素含有ガスの供給を停止するとともに、共振コイル212へのRF電力の供給を停止する。そして、処理室201内を真空排気し、処理室201内に残留するガス等を処理室201内から排除する。このとき、バルブ253cを開き、処理室201内へ不活性ガスを供給する。不活性ガスはパージガスとして作用し、これにより、処理室201内がパージされる（パージ）。

[0053] 窒素含有ガスとしては、例えば、窒素（ N_2 ）ガスの他、アンモニア（ NH_3 ）ガス、ジアゼン（ N_2H_2 ）ガス、ヒドラジン（ N_2H_4 ）ガス、 N_3H_8 ガス等の窒化水素系ガスを用いることができる。窒素含有ガスとしては、これらのうち1以上を用いることができる。また、窒素含有ガスとして、 N_2 ガスと水素（ H_2 ）ガスの混合ガス等のように、窒素含有ガスと水素含有ガスの混合ガスを用いることができる。

[0054] なお、窒素含有ガスとして水素を含むガスを用いる場合、窒素含有ガスとして水素を非含有とするガスを用いる場合に比べて、Si膜等の単体膜に対

する窒化速度がSiO膜等の酸化膜に対する窒化速度よりも大きくなる傾向がある。そのため、トレンチ301の内表面に、厚さが不均一な、すなわち、厚さにバラつきのある自然酸化膜が形成されている場合には、自然酸化膜の影響により、ウエハ200の表面に形成される窒化層401の厚さの分布の制御が困難となる場合がある。この場合、窒素含有ガスとして、Hを非含有とするガス（例えばN₂ガス）を用いることにより、自然酸化膜による影響を抑制でき、ウエハ200の表面に形成される窒化層401の厚さの分布の制御性を高めることが可能となり、好ましい。

[0055] 不活性ガスとしては、例えば、N₂ガスや、アルゴン（Ar）ガス、ヘリウム（He）ガス、ネオン（Ne）ガス、キセノン（Xe）ガス等の希ガスを用いることができる。不活性ガスとしては、これらのうち1以上を用いることができる。この点は、後述する各ステップにおいても同様である。

[0056] [ステップb：酸化処理]

ステップbでは、処理室201内のウエハ200に対して酸素含有ガスをプラズマで励起させて供給する。

[0057] 具体的には、バルブ253bを開き、ガス供給管232b内へ酸素含有ガスを流す。酸素含有ガスは、MFC252bにより流量調整され、バッファ室237を介して処理室201内へ供給され、排気口235より排気される。このとき、ウエハ200の上方から、ウエハ200に対して酸素含有ガスが供給される（酸素含有ガス供給）。このとき、バルブ243cを開き、バッファ室237を介して処理室201内へ不活性ガスを供給するようにしてもよい。

[0058] このとき、共振コイル212に対して、高周波電源273からRF電力を印加する。これにより、ステップaと同様に誘導プラズマが励起される。誘導プラズマの励起により、酸素含有ガスが活性化され、酸化種が生成される。酸化種には、励起状態のO原子（O*）、および、イオン化されたO原子のうち、少なくともいずれかが含まれる。また、酸素含有ガスとしてHを含有するガスを用いた場合、酸化種には更に、励起状態のOH基（OH*）、およ

び、O及びHを含むイオンのうち、少なくともいずれかが含まれる。さらに、この場合、励起状態のH原子(H*)やイオン化されたH原子等の反応種も生成されることがある。これらの反応種を酸化種の一部として捉えることもできる。

[0059] 本ステップにおける処理条件としては、

処理温度：室温～1000℃、好ましくは650～900℃

処理圧力：1～1000Pa、好ましくは100～200Pa

酸素含有ガス供給流量：0.1～10slm、好ましくは0.2～0.5slm

酸素含有ガス供給時間：10～400秒、好ましくは20～50秒

が例示される。他の処理条件は、ステップaにて窒素含有ガスを供給する際における処理条件と同様にする。

[0060] 上述の処理条件下でウエハ200に対して酸素含有ガスをプラズマで励起させて供給することにより、トレンチ301の内表面に対して酸化種が供給される。供給された酸化種により、窒化層401を含むトレンチ301の内表面が酸化され、酸化層402に改質される(図4(c)参照)。

[0061] このとき、窒化層401の厚さ方向の全体に亘って、窒化層401を酸化層402に改質することができる。好ましくは、トレンチ301の内表面のうち、窒化層401と、窒化層401の厚さ方向における窒化層401よりも深い領域であって窒化層401に改質されていない所定の領域(Nが拡散していない下地の領域)と、のそれぞれを、酸化層402に改質することができる。すなわち、ステップaを行うことで窒化層401に改質された内表面と、ステップaを行っても窒化層401に改質されなかった内表面と、のそれぞれを、酸化層402に改質することができる

[0062] またこのとき、酸化層402の厚さの分布は、トレンチ301の開口部301aから底部301bに向かうにしたがって徐々に厚くなり、好ましくは、底部301bにおいて最も厚くなるような分布とすることができる(図4(d)参照)。

- [0063] この一つの理由として、シリコン窒化物（SiN）をシリコン酸化物（SiO）に改質させるときのレート（酸化レート（酸化速度））が、シリコン（Si）をシリコン酸化物（SiO）に改質させるときのレート（酸化レート）よりも小さいことが挙げられる。すなわち、SiNに対する酸化処理よりも、Si単体に対する酸化処理の方が効率的に進行するという、酸化処理の選択性が存在することが挙げられる。
- [0064] また他の理由として、ステップaにおいて形成する窒化層401の厚さ分布が、トレンチ301の開口部301aから底部301bに向かうにしたがって、徐々に薄くなるような分布となっていることが挙げられる。また好ましくは、トレンチ301の底部301b付近の内表面が、窒化層401に改質されていない状態となっていることが挙げられる。
- [0065] これらの理由により、トレンチ301の開口部301aの酸化レートは、トレンチ301の底部301bの酸化レートよりも、小さくなる。トレンチ301の内表面における酸化レートは、例えば、トレンチ301の開口部301aにおいて最も小さくなり、開口部301aから底部301bに向かうにしたがって、徐々に大きくなる。
- [0066] その結果、例えば、ステップbにおいて酸化層402の厚さの分布を、トレンチ301の開口部301aから底部301bに向かうにしたがって徐々に厚くなる分布とし、酸化層402の厚さを、トレンチ301の底部301bにおいて最も厚くすることが可能となる。すなわち、ステップaでは、ステップbにおいて酸化層402の厚さの分布が、トレンチ301の開口部301aから底部301bに向かうにしたがって徐々に厚くなる分布となるように、且つ／又は、酸化層402の厚さの分布が、トレンチ301の底部301bにおいて最も厚くなる分布となるように、窒化層401の厚さの分布を調整することができる。なお、この場合、トレンチ301の底部301bにおける酸化層402の厚さは、例えば、5～7nmとすることができる。
- [0067] また例えば、ステップbにおいて形成される酸化層402の厚さの分布を、トレンチ301の内表面の全面において均一となる分布にすることも可能

となる。すなわち、ステップ a では、ステップ b において形成される酸化層 402 の厚さの分布が、トレンチ 301 の内表面の全面において均一な分布となるように、窒化層 401 の厚さの分布を調整することができる。

[0068] 上述の酸化処理が完了した後、バルブ 253b を閉じ、処理室 201 内への酸素含有ガスの供給を停止するとともに、共振コイル 212 への RF 電力の供給を停止する。

[0069] 酸素含有ガスとしては、例えば、酸素 (O_2) ガス、オゾン (O_3) ガス、 O_2 ガス + 水素 (H_2) ガス、水蒸気 (H_2O)、過酸化水素 (H_2O_2) ガス等を用いることができる。酸素含有ガスとしては、これらのうち 1 以上を用いることができる。

[0070] なお、酸素含有ガスの酸化力を高め、トレンチ 301 の最表面の酸化を確実に行うには、酸素含有ガスとして、酸素 (O) に加えて水素 (H) をさらに含有するガス、例えば、 O_2 ガス + H_2 ガスを用いることが好ましい。なお、この場合において、酸素含有ガスに含まれる O 成分に対する H 成分の比率を大きくすることにより、Si 単体に対する酸化処理の選択性を高めること、すなわち、SiN を SiO に改質させる際における酸化レート R_{SiN} に対する、Si を SiO に改質させる際における酸化レート R_{Si} の比率 (R_{Si}/R_{SiN}) を大きくすることが可能となる。これにより、ステップ b を行うことで形成される酸化層 402 の厚さの分布の制御性を高めること、例えば、トレンチ 301 の底部 301b における酸化層 402 の厚さを増加させること等が容易となる。

[0071] (アフターパージ、大気圧復帰)

ステップ b が終了したら、処理室 201 内を真空排気し、処理室 201 内に残留するガス等を処理室 201 内から排除する。そして、上述のパージと同様の処理手順、処理条件により、処理室 201 内に残留するガス状物質等を処理室 201 内から排除する (アフターパージ)。その後、処理室 201 内の雰囲気のパージガスに置換され、処理室 201 内の圧力が常圧に復帰される (大気圧復帰)。

[0072] (ウエハ搬出)

続いて、サセプタ 217 を所定の搬送位置まで下降させ、ウエハ 200 を、サセプタ 217 上から支持ピン 266 上へと移載させる。その後、ゲートバルブ 244 を開き、図示しない搬送ロボットを用い、処理後のウエハ 200 を処理室 201 外へ搬出する。以上により、本態様に係る基板処理工程を終了する。

[0073] (3) 本態様による効果

本態様によれば、以下に示す 1 つ又は複数の効果が得られる。

[0074] (a) ステップ b を行う前にステップ a を行い、かつ、ステップ a を行うことで形成される窒化層 401 の厚さの分布を所定の分布とすることにより、ステップ b を行うことで形成される酸化層 402 の厚さの分布を所望の分布にすることが可能となる。

[0075] 例えば、ステップ a では、トレンチ 301 の開口部 301 a 付近の内表面（特に側壁面）を窒化層 401 に改質し、トレンチ 301 の底部 301 b 付近の内表面を窒化層 401 に改質しないようにする。これにより、ステップ b を行うことで形成される酸化層 402 の厚さの分布を、底部 301 b 付近における厚さが、開口部 301 a 付近における厚さよりも大きくなる分布にすることが可能となる。またステップ a において、特に、開口部 301 a から底部 301 b に向かうにしたがって徐々に薄くなるような厚さの分布となるようにトレンチ 301 の内表面（特に側壁面）を窒化層 401 に改質し、トレンチ 301 の底部 301 b 付近の内表面は窒化層 401 に改質しないようにする。これにより、ステップ b を行うことで形成される酸化層 402 の厚さの分布を、トレンチ 301 の開口部 301 a から底部 301 b に向かうにしたがって徐々に厚くなり、底部 301 b において最も厚くなる分布にすることが可能となる。

[0076] また例えば、ステップ a では、トレンチ 301 の内表面の全面（側壁面及び底面を含む面）を窒化層 401 に改質しつつも、窒化層 401 の厚さの分布を、トレンチ 301 の開口部 301 a から底部 301 b に向かうにしたが

って徐々に薄くなるような所定の分布とする。これにより、ステップbを行うことで形成される酸化層402の厚さの分布を、トレンチ301の内表面の全面において均一となる分布にすることが可能となる。

[0077] (b) ステップaでは、プラズマや熱、光などによりエネルギーを与えることにより窒素含有ガスを励起して窒化種を生成し、この窒化種をウエハ200に供給することにより、窒化層401の形成を効率的に行うことが可能となる。また、生成された窒化種が短寿命であることを利用して、ステップaを行うことで形成される窒化層401の厚さの分布の制御性を高め、ひいては、ステップbを行うことで形成される酸化層402の厚さの分布の制御性を高めることが可能となる。

[0078] (c) ステップbでは、プラズマや熱、光などによりエネルギーを与えることにより酸素含有ガスを励起して酸化種を生成し、この酸化種をウエハ200に供給することにより、酸化層402の形成を効率的に行うことが可能となる。

[0079] (d) ステップa, bでは、プラズマにより、窒素含有ガス、酸素含有ガスをそれぞれ励起することにより、窒化層401、酸化層402のそれぞれを、比較的低温の条件下で形成することが可能となる。これらにより、ウエハ200の熱履歴を低減させることが可能となる。

[0080] (e) ステップaでは、窒素含有ガスとして、Hを非含有とするガスを用いることにより、トレンチ301の内表面に形成されている厚さが不均一な自然酸化膜による影響を抑制でき、トレンチ301の内表面に形成される窒化層401の厚さの分布の制御性、ひいては、酸化層402の厚さの分布の制御性を高めることが可能となる。

[0081] (f) ステップbでは、酸素含有ガスとして、Hを含有するガスを用いることにより、酸素含有ガスの酸化力を高め、酸化処理の効率を高めることが可能となる。

[0082] この場合において、酸素含有ガスに含まれるO成分(O原子の数)に対するH成分(H原子の数)の比率を大きくすることにより、SiN(窒化物)

への酸化処理に対するSi単体（非窒化物）への酸化処理の選択性を高めることができる（上述の R_{Si}/R_{SiN} を大きくすることができる）。そのため、例えば、ステップaにおいてトレンチ301の底部301bに形成される窒化層401の厚さが小さい、または窒化層401が形成されないように窒化層401を形成した場合、H成分の比率を大きくすることにより、底部301bに形成される酸化層402の厚さを更に選択的に増加させるように調整することができる。同様に、例えば、ステップaにおいて開口部301aから底部301bに向かうにしたがって徐々に薄くなるような厚さの分布となるように窒化層401を形成した場合、H成分の比率を大きくすることにより、開口部301aから底部301bに向かうにしたがって厚さが大きくなる酸化層402の厚さの勾配を更に大きくするように調整することができる。

[0083] このように、ステップaにおいて所定の分厚さの分布となるように窒化層401が形成されたトレンチ301に対して、ステップbにおけるH成分の比率を調整することにより、更に酸化層402の厚さの分布を制御することが可能となる。すなわち、H成分の比率を調整することにより、ステップbを行うことで形成される酸化層402の厚さの分布の制御性を高めることが可能となる。

[0084] (g) ステップbでは、窒化層401の厚さ方向の全体に亘って、窒化層401を酸化層402に改質することにより、酸化層402中にNを実質的に残留させないようにすることが可能となる。

[0085] 好ましくは、ステップbでは、トレンチ301の内表面のうち、窒化層401と、窒化層401の厚さ方向における窒化層401よりも深い領域であって窒化層401に改質されていない所定の領域（Nが拡散していない下地の領域）と、のそれぞれを、酸化層402に改質することにより、酸化層402中にNをより確実に残留させないようにすることが可能となる。

[0086] (h) 上述の効果は、上述の酸素含有ガス群、窒素含有ガス群、不活性ガス群から、所定の物質（ガス状物質、液体状物質）を任意に選択して用いる場

合においても、同様に得ることができる。

[0087] (4) 変形例

本態様における基板処理シーケンスは、以下に示す変形例のように変更することができる。これらの変形例は、任意に組み合わせることができる。特に説明がない限り、各変形例の各ステップにおける処理手順、処理条件は、上述の基板処理シーケンスの各ステップにおける処理手順、処理条件と同様とすることができる。

[0088] (変形例 1)

ステップ a では、処理圧力を比較的低い圧力とすることにより、生成される窒化種の量を減らし、窒化層 401 の厚さ分布、ひいては、酸化層 402 の厚さ分布を制御するようにしてもよい。具体的には、処理圧力を、上述の態様における説明で言及した「第 1 圧力」よりも低い第 3 圧力とするようにしている。

[0089] 本変形例においても、上述の態様と同様の効果が得られる。また、本変形例によれば、ウエハ 200 に対する窒化種の供給量を少なくし、窒化種の殆どをトレンチ 301 の開口部 301 a 付近で消費させ、底部 301 b まで窒化種を到達させないようにすることが可能となる。その結果、窒化層 401 の厚さ分布を、トレンチ 301 の開口部 301 a から底部 301 b に向かうにしたがって徐々に薄くなるような分布とすることが容易となる。

[0090] (変形例 2)

ステップ a では、RF 電力を比較的低くすることにより、生成される窒化種の量を減らし、窒化層 401 の厚さ分布、ひいては、酸化層 402 の厚さ分布を制御するようにしてもよい。具体的には、ステップ a を行うことで形成される窒化層 401 の厚さ分布がトレンチ 301 の内表面の全面において均一な厚さ分布となるような RF 電力の値を「第 1 電力値」とする場合において、RF 電力の値を、この第 1 電力値よりも低い第 2 電力値とするようにしている。

[0091] 本変形例においても、上述の態様と同様の効果が得られる。また、本変形

例によれば、ウエハ200に対する窒化種の供給量を少なくし、窒化種の殆どをトレンチ301の開口部301a付近で消費させ、底部301bまで窒化種を到達させないようにすることが可能となる。その結果、窒化層401の厚さ分布を、トレンチ301の開口部301aから底部301bに向かうにしたがって徐々に薄くなるような分布とすることが容易となる。

[0092] (変形例3)

ステップaでは、窒素含有ガスの供給時間を比較的短くすることにより、ウエハ200に対して供給される窒化種の量を減らし、窒化層401の厚さ分布、ひいては、酸化層402の厚さ分布を制御するようにしてもよい。具体的には、ステップaを行うことで形成される窒化層401の厚さ分布がトレンチ301の内表面の全面において均一な厚さ分布となるような供給時間を「第1供給時間」とする場合において、供給時間を、この第1供給時間よりも短い第2供給時間とするようにしている。

[0093] 本変形例においても、上述の態様と同様の効果が得られる。また、本変形例によれば、ウエハ200に対する窒化種の供給量を少なくし、窒化種の殆どをトレンチ301の開口部301a付近で消費させ、底部301bまで窒化種を到達させないようにすることが可能となる。その結果、窒化層401の厚さ分布を、トレンチ301の開口部301aから底部301bに向かうにしたがって徐々に薄くなるような分布とすることが容易となる。

[0094] (変形例4)

ステップaでは、ウエハ200に供給する窒化種として、イオン化されたN原子などのイオン成分を用いることにより、窒化層401の厚さ分布、ひいては、酸化層402の厚さ分布を制御するようにしてもよい。具体的には、インピーダンス可変機構275を調整し、インピーダンス調整電極217c及びサセプタ217を介して、ステップaにおけるウエハ200の電位（バイアス電圧）を制御する。これにより、窒化層401の厚さ分布が所望の分布となるように、トレンチ301内に引き込まれる窒化種のイオン成分による窒化の分布を調整する。

[0095] 本変形例においても、上述の態様と同様の効果が得られる。また、イオン化されたN原子等のイオン成分は、たとえ処理圧力を下げたとしても平均自由行程が短いことから、トレンチ301の開口部301a付近の内表面に偏って反応する傾向にある。その結果、窒化層401の厚さ分布を、トレンチ301の開口部301aから底部301bに向かうにしたがって徐々に薄くなるような分布とすることが容易となる。

[0096] (変形例5)

ステップaでは、窒素含有ガスの流速を比較的大きくすることにより、窒化層401の厚さ分布、ひいては、酸化層402の厚さ分布を制御するようにしてもよい。具体的には、ステップaを行うことで形成される窒化層401の厚さ分布がトレンチ301の内表面の全面において均一な厚さ分布となるような流速を「第1流速」とする場合において、流速を、この第1流速よりも大きい第2流速とするようにしている。窒素含有ガスの流速は、例えば、処理室201内への窒素含有ガスの供給流量を制御することにより調整する。

[0097] 本変形例においても、上述の態様と同様の効果が得られる。また、本変形例によれば、窒化種の流速を大きくすることで、底部301b付近における窒化種の流速を、開口部301a付近における窒化種の流速に対して相対的に低下させ、トレンチ301の開口部301a付近の内表面を優先的に窒化させることが可能となる。その結果、窒化層401の厚さ分布を、トレンチ301の開口部301aから底部301bに向かうにしたがって徐々に薄くなるような分布とすることが容易となる。

[0098] <本開示の他の態様>

以上、本開示の態様を具体的に説明した。しかしながら、本開示は上述の態様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。

[0099] 上述の態様では、ステップaにおいて、トレンチ301の内表面の一部を窒化層401に改質させる例について説明した。しかしながら、本開示はこ

れに限定されない。例えば、トレンチ301の内表面の全面を窒化層401に改質されてもよい。この場合においても、上述の態様と同様の効果が得られる。

[0100] 上述の態様では、プラズマにより、窒素含有ガス、酸素含有ガスを励起する例について説明したが、本開示はこれに限定されない。例えば、熱や光により、窒素含有ガス、酸素含有ガスを励起してもよい。この場合においても、上述の態様と同様の効果が得られる。また、ウエハ200等へのプラズマダメージを回避することが可能となる。

[0101] 上述の態様では、凹状構造として、トレンチ301を例に挙げて説明したが、本開示はこれに限定されない。例えば、ウエハ200の表面に、凹状構造として、ホールが形成されていてもよい。また、凹部の構造は、開口部301aから底部301bに向かうにしたがって幅広になるように（対向する内表面と内表面との距離が徐々に大きくなるように）形成されていてもよい。また、開口部301aから底部301bに向かうにしたがって幅狭となるように（対向する内表面と内表面との距離が徐々に小さくなるように）形成されていてもよい。これらの場合においても、上述の態様と同様の効果が得られる。

[0102] 上述の態様では、説明しなかったが、本開示では、アスペクト比が10以上、もしくは20以上のトレンチ301が形成されたウエハ200を用いることができる。本開示によれば、このような高いアスペクト比を有するウエハ200を用いた場合であっても、上述の態様と同様の効果が得られる。

[0103] 上述の態様では、トレンチ301の内表面が、Si単体からなるSi層により構成されている例について説明したが、本開示はこれに限定されない。例えば、トレンチ301の内表面が、炭化シリコン（SiC）、シリコンゲルマニウム（SiGe）等のSi含有物（Si化合物）により構成されていてもよい。また、トレンチ301の内表面が、アルミニウム（Al）、チタン（Ti）、ハフニウム（Hf）、またはジルコニウム（Zr）を含有する金属、またはこれらの化合物により構成されていてもよい。ただし、トレン

チ 3 0 1 の内表面は、これらの酸化物及び窒化物以外であることが好ましい。

[0104] 上述の態様では、窒化処理（ステップ a）及び酸化処理（ステップ b）を単一の処理室（すなわち処理室 2 0 1）内において連続的に行う例について説明したが、本開示はこれに限定されない。例えば、基板に対して窒化処理（ステップ a）を行った後、当該窒化処理が行われた処理室内から大気開放されていない搬送室へ基板を搬出する。その後、他の処理室内へ基板を搬入して、酸化処理（ステップ b）を行うようにしてもよい。

[0105] 上述の態様では、例えば、一度に 1 枚または数枚の基板を処理する枚葉式の基板処理装置を用いて基板処理を行う例について説明した。本開示は上述の態様に限定されず、一度に複数枚の基板を処理するバッチ式の基板処理装置を用いる場合にも好適に適用できる。

[0106] これらの基板処理装置を用いる場合においても、上述の態様や変形例における処理手順、処理条件と同様な処理手順、処理条件にて各処理を行うことができ、上述の態様や変形例と同様の効果が得られる。

符号の説明

- [0107] 2 0 0 ウエハ（基板）
3 0 1 トレンチ（凹状構造）
4 0 1 窒化層
4 0 2 酸化層

請求の範囲

- [請求項1] (a) 基板上に形成された凹状構造の内表面を窒化し、前記内表面の少なくとも一部を窒化層に改質する工程と、
- (b) 前記窒化層を含む前記内表面を酸化し、前記内表面を酸化層に改質する工程と、
- を有し、
- (a) では、前記内表面における前記窒化層の厚さの分布を、前記内表面における前記酸化層の厚さの分布が所望の分布になるような分布とする半導体装置の製造方法。
- [請求項2] (a) では、窒素含有ガスを励起して窒化種を生成し、前記窒化種を前記基板に供給する請求項1に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項3] (a) では、プラズマまたは熱により前記窒素含有ガスを励起する請求項2に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項4] 前記窒素含有ガスは、水素を非含有とするガスである請求項2または3に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項5] (a) では、前記窒化層の厚さの分布を、前記凹状構造の開口部から底部に向かうにしたがって徐々に薄くなるような分布とする請求項1～4のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項6] (a) では、前記内表面の全面を前記窒化層に改質する請求項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] (a) では、前記凹状構造の開口部付近の前記内表面を前記窒化層に改質し、前記凹状構造の底部付近の前記内表面を前記窒化層に改質しない請求項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] (a) において窒化される前記内表面は、シリコンを含有する請求項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] (b) では、酸素含有ガスを励起して酸化種を生成し、前記酸化種を前記基板に供給する請求項1～8のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法。

- [請求項10] (b)では、プラズマまたは熱により前記酸素含有ガスを励起する請求項9に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項11] 前記酸素含有ガスは、水素を含有するガスである請求項9または10に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項12] (b)では、前記酸素含有ガスに含まれる酸素に対する水素の比率を調整することにより、前記酸化層の厚さの分布を制御する請求項11に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項13] (b)では、前記窒化層の厚さ方向の全体に亘って、前記窒化層を前記酸化層に改質する請求項1～12のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項14] (b)では、前記酸化層の厚さの分布を、前記凹状構造の開口部から底部に向かうにしたがって徐々に厚くなり、前記底部において最も厚くなるような分布とする請求項1～13のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項15] (a)では、前記窒化層の厚さの分布を、前記酸化層の厚さの分布が、前記凹状構造の開口部から底部に向かうにしたがって徐々に厚くなり、前記底部において最も厚くなる分布になるような分布とする請求項14に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項16] (b)では、前記酸化層の厚さの分布を、前記内表面の全面において均一となるような分布とする請求項1～13のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項17] (a)では、前記窒化層の厚さの分布を、前記酸化層の厚さの分布が、前記内表面の全面において均一となる分布になるような分布とする請求項16に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項18] (a) 基板上に形成された凹状構造の内表面を窒化し、前記内表面の少なくとも一部を窒化層に改質する工程と、
(b) 前記窒化層を含む前記内表面を酸化し、前記内表面を酸化層に改質する工程と、

を有し、

(a) では、前記内表面における前記窒化層の厚さの分布を、前記内表面における前記酸化層の厚さの分布が所望の分布になるような分布とする基板処理方法。

[請求項19]

基板を収容する処理室と、

前記処理室内に窒素含有ガスを供給する窒素含有ガス供給系と、

前記処理室内に酸素含有ガスを供給する酸素含有ガス供給系と、

前記窒素含有ガス供給系および前記酸素含有ガス供給系から供給されるガスを励起する励起部と、

前記処理室内で、(a) 前記窒素含有ガスを励起することで生成した窒化種を表面に凹状構造が形成された基板に対して供給し、前記凹状構造の内表面を窒化し、前記内表面の少なくとも一部を窒化層に改質する処理と、(b) 前記酸素含有ガスを励起することで生成した酸化種を前記基板に対して供給し、前記窒化層を含む前記内表面を酸化し、前記内表面を酸化層に改質する処理と、を行わせ、(a) では、前記内表面における前記窒化層の厚さの分布を、前記内表面における前記酸化層の厚さの分布が所望の分布になるような分布とするように、前記窒素含有ガス供給系、前記酸素含有ガス供給系、および前記励起部を制御することが可能なように構成される制御部と、

を有する基板処理装置。

[請求項20]

基板処理装置の処理室内において、

(a) 基板上に形成された凹状構造の内表面を窒化し、前記内表面の少なくとも一部を窒化層に改質する工程と、

(b) 前記窒化層を含む前記内表面を酸化し、前記内表面を酸化層に改質する工程と、

(a) において、前記内表面における前記窒化層の厚さの分布を、前記内表面における前記酸化層の厚さの分布が所望の分布になるような分布とする手順と、

をコンピュータによって前記基板処理装置に実行させるプログラム

。