

明 細 書

発明の名称：エッチング方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体デバイスを製造する工程において、半導体ウエハ等の基板上の試料上に予め形成された処理対象の酸化シリコン膜をエッチングして除去するエッチング方法に係り、特に上下方向に積層された複数の酸化シリコン膜とこれらの間の層間膜とを有する膜構造において酸化シリコン膜を等方的にドライエッチングするエッチング方法に関する。

背景技術

[0002] 記憶装置等に用いられる半導体デバイスでは、低消費電力化や記憶容量増大等の市場からの要求に対応するため、更なる微細化、およびデバイスの構造の３次元化が進んでいる。このような半導体デバイスの製造において、３次元の構造を形成する工程では、当該構造は従来技術より立体的で複雑であるため、従来行われてきたウエハの上下面に対して垂直方向にエッチングを行う「垂直性(異方性)エッチング」に加え、横方向のエッチングも行う「等方性エッチング」が多用されるようになって考えられている。

[0003] このような等方性のエッチングは、従来は、薬液を用いたウエット処理により行われてきた。しかしながら、上記デバイスの構造の微細化の進展により、薬液の表面張力により構造のパターンが倒れたりやパターン同士の隙間のエッチング残りの問題が顕在化している。さらには、大量の薬液処理が必要となる点が問題となっていた。そのため、等方性エッチングでは、薬液を用いたウエット処理を用いるものから、薬液を用いないドライ処理のものに置き換えることが求められている。

[0004] 半導体デバイス中では、酸化シリコン膜が多く使われることから、そのドライエッチングプロセスも、以前から多数の公知例がある。例えば特許文献１には、アルコールとＣＦ系のガスにより、０℃以下でプラズマを用いて酸化シリコン系材料層をエッチングすることが記載されている。また、特許文

献2には、堆積物除去法として、フッ化水素とメタノールの混合ガスを用いて、30℃以下でエッチングされていることが記載されている。また、特許文献3、4、5、6には、フッ化水素とアルコールにより、0℃～30℃、あるいは、室温～40℃のような温度で酸化シリコン膜をエッチングすることが記載されており、特許文献3、4、5には、窒化シリコンに関する記載がある。

[0005] さらに特許文献7には、フッ化水素とアルコールから生成した HF_2^- により、窒化シリコン膜上に形成された酸化シリコン膜を有する構造体をエッチングすることと、その後、その構造体を加熱すること、さらに冷却することが記載されている。また、特許文献8には、-20℃以下で、酸素を含む前駆体とフッ素を含む前駆体を用いて、窒化シリコン膜と酸化シリコン膜が積層した構造から窒化シリコン膜を選択的に横方向にエッチングすることが記載されている。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：特開平07-169738号公報
特許文献2：特開2013-074220号公報
特許文献3：特開2016-025195号公報
特許文献4：US9613823号公報
特許文献5：特開平07-153737号公報
特許文献6：US5571375号公報
特許文献7：特開2005-161493号公報
特許文献8：US10319603号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 上記の従来技術は、次の点についての考慮が不十分であったため問題が生じていた。

[0008] すなわち、3次元構造の半導体素子である3D-NANDフラッシュメモリの積層膜加工やFin型FETのゲート周りの加工においては、酸化膜を多結晶シリコン膜やシリコン窒化膜に対して高選択で、かつ原子層レベルで処理を施す量を制御してエッチングする技術が求められる。このような3D-NANDフラッシュメモリを製造する工程において処理対象の構造とそのエッチング処理の典型的な例としては、酸化シリコン膜（SiO_x膜）と窒化シリコン膜（SiN）とが上下方向に交互に複数積層された構造体の最上面から当該上下方向に深い穴や溝の形状が形成された構造体であって、穴や溝の構造の側壁面を構成する積層された膜構造の表面から選択的に酸化シリコン膜を横方向にエッチングする工程が考えられる。

[0009] 背景技術で示したように、フッ酸水溶液やバッファードフッ酸水溶液によるウェット処理によるエッチングでは、微細な間隔を有する溝や微小な径の穴の構造でのエッチング残りや、エッチングの制御性が悪いという問題があった。また、特許文献1乃至7に開示された従来の技術を上記酸化シリコン膜と窒化シリコン膜とが上下方向に交互に複数積層された膜構造に適用した場合に、前者の後者に対する高い選択性を実現して後者に対して前者を効率的に（高いエッチングレートで）処理することは難しい、という問題が生じていた。

[0010] 本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、酸化シリコン膜を窒化シリコン膜に対して高い選択比で高精度にエッチングするエッチング方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0011] 上記目的は、処理室内に配置されたウエハ上に予め形成された酸化シリコン膜及び窒化シリコン膜が上下方向に交互に積層された膜層の端部が溝または穴の側壁を構成する膜構造を、前記処理室内に処理用の気体を供給してエッチングするエッチング方法であって、前記処理室内にフッ化水素及びアルコールの蒸気を供給し、前記ウエハを-20℃以下、望ましくは-20乃至-60℃の温度に維持して、前記酸化シリコン膜を前記端部から横方向にエ

ッチングすることにより達成される。

発明の効果

[0012] 酸化シリコン膜を高いエッチングレートでエッチングすることと、窒化シリコン膜を低いエッチングレートでエッチングすることを両立することができ、その結果、窒化シリコン膜に対して、高い選択比で酸化シリコン膜を高精度にエッチングに除去することが可能である。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]本実施例に係るエッチング処理装置の構成の概略を模式的に示す縦断面図である。

[図2]図1に示す実施例に係るエッチング処理装置において処理されるウエハ上に形成された膜構造の構成の概略を模式的に示す縦断面図である。

[図3]図1に示す実施例に係るエッチング処理装置において処理されるウエハ上に形成された膜構造に好ましくない端部の形状が生成された状態の断面を模式的に示す縦断面図である。

[図4]図1に示す実施例に係るエッチング処理装置において実施されるウエハの処理の流れの概略を示すフローチャートである。

[図5]図4に示すウエハの処理の時間の経過に伴う動作の流れの概略を示すタイムチャートである。

[図6]本実施例に係るプラズマ処理装置において、処理室内に配置したウエハ上の酸化シリコン膜をフッ化水素とメタノールとの混合ガスを用いてエッチング処理した場合のウエハ温度の変化に対するエッチング速度の変化の参考例を示すグラフである。

[図7]図6に示す参考例においてウエハの温度の変化に対する酸化シリコン膜と窒化シリコン膜との間の選択比の変化を示すグラフである。

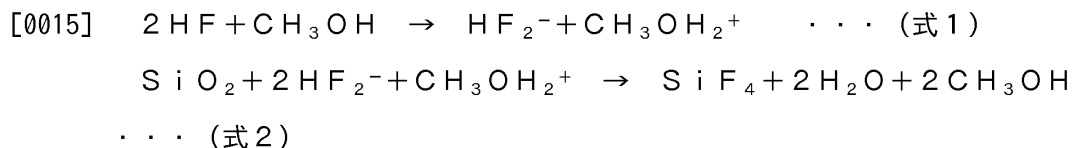
[図8]複数の種類のアルコール、水、フッ化水素、四弗化シリコンの温度に対する蒸気圧の変化を示すグラフである。

[図9]本発明の別の実施例に係るエッチング処理装置の全体の構成の概略を模式的に示す縦断面図である。

[図10]図9に示す別の実施例に係るエッチング処理装置で実施されたエッチング処理における処理対象膜のエッチングレートと処理ガスとして用いられたフッ化水素に対するメタノールの量との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0014] 本発明者は、フッ化水素ガス及びアルコールによる酸化シリコン膜、窒化シリコン膜のエッチングに関して、詳細に検討を行った。酸化シリコン膜をフッ化水素ガス及びアルコールとしてメタノールを用いた場合の反応式は、特許文献7に記載されるように、下記で示される。



これらの式に示されるように、フッ化水素(HF)2分子とメタノール(CH₃OH)が反応し、活性種であるHF₂⁻を生成する(式1)。このHF₂⁻が、SiO₂と反応し、SiF₄(沸点-94.8℃)を生成して、それが揮発してエッチングが起きる。反応を担っているのは、HF₂⁻である。メタノールのようなアルコールは、フッ化水素2分子からH⁺を引き抜いて、HF₂⁻を生成させる役割を果たす。

[0016] 本発明者らは、フッ化水素とメタノールとの混合ガスを用いた場合の、プラズマCVDにより形成された酸化シリコン膜、および窒化シリコン膜のそれぞれの単層膜のエッチングレートについて条件を変えて検討を行った。その結果を図6乃至8を用いて説明する。

[0017] 図6は、本実施例に係るプラズマ処理装置において、処理室内に配置したウエハ上の酸化シリコン膜をフッ化水素とメタノールとの混合ガスを用いてエッチング処理した場合のウエハ温度の変化に対するエッチング速度の変化の参考例を示すグラフである。図7は、図6に示す参考例においてウエハの温度の変化に対する酸化シリコン膜と窒化シリコン膜との間の選択比の変化を示すグラフである。図8は、複数の種類のアルコール、水、フッ化水素、四弗化シリコンの温度に対する蒸気圧の変化を示すグラフである。

- [0018] 図6に示した例においては、各々の単層膜をエッチング処理する際に用いたガスは、フッ化水素800 s c c m、メタノール400 s c c m、フッ化水素、メタノールに、さらに希釈ガスであるA rをそれぞれ100 s c c mずつ合計200 s c c m添加したものが用いられている。また、処理室内でウエハが処理された圧力は300 P aであった。
- [0019] 図6に示すように、ウエハの温度がより低温に変化するに伴って、窒化シリコン膜のエッチング速度（エッチングレート）の変化の量に対して、酸化シリコン膜のエッチング速度（エッチングレート）が大きく変化していることが判る。特に、 -15°C 以下では酸化シリコン膜のエッチングレートが急激に大きくなっている。これは、酸化シリコン膜へのフッ化水素やメタノールの吸着量が増えて、（式1）、（式2）で示した反応が起きやすくなったためと考えられる。
- [0020] これに対して、窒化シリコン膜のエッチングレートは、 -15°C 以下の低温でも小さいままで変化しない。結果として、図7に示すように、酸化シリコン膜と窒化シリコン膜との間の選択比は、処理がされる温度が 0°C 以下の領域においては温度が低くなるに伴って増大する傾向を有し、特に -30°C ～ -45°C に極大値を含む高い選択比となる範囲を有していることが判る。
- [0021] 一方、図6に示す参考例の複数のデータから導出された実践上の酸化シリコン膜のエッチングレートは、 -25°C ～ -30°C の間で極大値を有してこれより低温、特に -45°C 以下では逆に徐々に低下していく。そして、図7に示す実線上の選択比の値は、 -35°C ～ -40°C の間で極大値となり、これより低温になるに伴って減少していくことが示されている。このように、窒化シリコン膜に対する酸化シリコン膜のエッチングレートの選択比は、 -20°C ～ -50°C の範囲で大きく、特に -30°C ～ -45°C が極大値を含んで大きな範囲であることが判った。
- [0022] ここで、アルコールやフッ化水素ガスの温度に対する蒸気圧の文献値をグラフ化した曲線（図8）を見ると、 -50°C より低温ではアルコールの蒸気圧が低下して、100 P aより小さくなっている。フッ化水素ガスとメタノ

ールを用いるプロセスでは、100Paから1000Pa程度を全圧として用いており、分圧として考えた場合、数十から数百Pa程度が必要となる。

[0023] 例えば、300Paを全圧として処理をした図6、7で示した例では、分圧としては100Pa程度が必要となる。これに対して、-50℃以下では、アルコールの蒸気圧が低くなりすぎることが関係して、エッチングレートが低下すると考えられる。

[0024] 以上のように、高い酸化シリコン膜のエッチングレートと低い窒化シリコン膜のエッチングレートを両立することができ、窒化シリコン膜に対して、高い選択比で酸化シリコン膜を高精度にエッチングするには、ウエハ温度-20℃~-60℃が望ましく、さらにはウエハ温度-30℃~-45℃がより望ましいことを見出した。

実施例 1

[0025] 以下、本発明の実施例を図面に基づいて詳細に説明する。

[エッチング処理装置]

まず、図1を用いて本発明の実施例1のエッチング処理装置について全体の構成の概略を説明する。図1は、本実施例に係るエッチング処理装置の構成の概略を模式的に示す縦断面図である。

[0026] 本図において、エッチング処理装置100は、上下方向に中心軸を有した円筒形の金属製の真空容器であるベースチャンバ11を備えた下部ユニット57と、ベースチャンバ11の上方に載置されてベースチャンバ11の円形の天井面を構成する上部ユニット58とを備えている。さらに下方には、ベースチャンバ11内部を排気して減圧する排気ポンプを含む真空排気部63が配置されている。

[0027] ベースチャンバ11の内部には、その側壁と底部とに囲まれた空間であって内側が減圧される処理室1が配置されている。円筒形を有した処理室1の内部には、その上面にウエハ2が載置される円筒形を有した支持台であるウエハステージ3が配置されている。ウエハステージ3の外周側のベースチャンバ11の底部には、処理室1の内外を連通する貫通孔が少なくとも1つ配

置され、これら貫通孔の開口が処理室 1 の内部のガスや粒子が排出される排気口を構成する。

[0028] さらに、処理室 1 の天井面の中心部であってウエハ 2 表面の膜層を処理するためのガスが導入される空間を挟んでウエハステージ 3 の上面上方には、石英等の誘電体製の円板であるシャワープレート 2 3 が当該上面と対向して配置され、上部ユニット 5 8 として処理室 1 の天面を構成している。シャワープレート 2 3 には複数の貫通孔が備えられ、当該貫通孔を通して処理ガスが処理室 1 内に供給される。本実施例の処理ガスは、ウエハ 2 表面に予め配置された処理対象の膜層と反応する少なくとも 1 種類の反応性ガスとこれを所定の割合に希釈する希ガスとを含む複数種類の元素が混合された混合ガスである。

[0029] 処理ガスは、シャワープレート 2 3 の貫通孔に連通して配置された処理ガス供給用の管路の上にガス種毎に配置されたマスフローコントローラ 5 0 によってガス種毎にその流量または速度が調整され、複数本のガス用の配管が 1 つに纏められてガスが合流して処理ガスとしてシャワープレート 2 3 の貫通孔に供給される。また、マスフローコントローラ 5 0 の下流側で合流した処理ガス供給用の管路のさらに下流側には、ガス分配器 5 1 が配置され、ガス分配器 5 1 からシャワープレート 2 3 までの間には、複数本のガス供給用の管路であるガス供給管 5 6 がこれらと連結されて、これらの管路の下端はシャワープレート 2 3 の中心部または外周部に配置された貫通孔に連通して配置されている。

[0030] 本実施例では、シャワープレート 2 3 の貫通孔に連通して配置された各々のガス供給管 5 6 を通って中心部と外周側部分とで流量や組成を各々で独立に調節された処理ガスが処理室 1 内に上部中央部から供給され、処理室 1 の中心付近と外周付近との各々の領域で処理ガスの分圧の分布が所望のものに調節される。なお、図 1 の例では、処理用ガスの原料となる元素として Ar, N₂, HF, O₂ が記載されているが、他の種類のものから構成された処理ガスも供給しても良い。

- [0031] さらに、本実施例ではシャワープレート 23 の貫通孔を通して、液体の原料を気化させて得られたガスが処理室 1 内に処理用ガスとして供給される。例えば、液体の原料として所定の種類のアルコールが用いられ、貯留部内に溜められたこれらの原料の液をペーパー供給器 47 において気化することで得られたガスが処理用ガスとして用いられる。
- [0032] ペーパー供給器 47 の内部には、原料の液体が貯留されるタンク 45 を備えている。当該タンク 45 の外壁の周囲を囲んで配置されたヒータ 46 に電力が供給されて生じた熱によって液体原料が加熱されてタンク 45 内部の上部に原料の蒸気が生成され、タンク 45 上部に連結された管路を通して内部に充満した原料の蒸気はマスフローコントローラ 50-2 によりその流量または速度が制御されて蒸気用のガス分配器 51 に供給され、シャワープレート 23 の複数の貫通孔のうちの所定の貫通孔に連通した複数のガス供給管 56 のうちの一部に分配される。さらに、これらのガス供給管 56 を通ってシャワープレート 23 の貫通孔を介して処理室 1 内に導入される。
- [0033] 原料の蒸気から構成されたこれらの処理ガスが処理室 1 内に導入されていない間は、ガス分配器 51 とタンク 45 との間を連結する管路上のバルブ 53, 54 の少なくとも 1 つが閉じられて、液体の原料と処理室 1 との間が遮断される。本例では、タンク 45 の外周囲に加熱用のヒータ 46 が備えられているが、原料の蒸気が流れる配管上にもヒータを配置して、当該ヒータからの熱を受けて配管内部を加熱して原料の蒸気が管内部で凝縮しないようにすることが望ましい。
- [0034] ベースチャンバ 11 内の処理室 1 の下部においてウエハステージ 3 の下方には処理室 1 内部を排気して減圧するための排気ポンプを含む排気手段 15 が真空排気配管 16 を介して連通して接続されている。排気手段 15 は、例えば、ターボ分子ポンプやメカニカルブースターポンプやドライポンプ等の処理室 1 内部を所定の真空度まで減圧できる排気ポンプを備えているものとする。また、処理室 1 内部の圧力を調節するため、ベースチャンバ 11 の底部材を連通した排気口と排気手段 15 との間を連結して連通する真空排気配

管 1 6 上に調圧手段 1 4 が配置されている。調圧手段 1 4 は、真空排気配管 1 6 の排気が流れる流路を横方向に横切って配置された板状のフラップを少なくとも 1 つ備えて当該フラップを回転または流路を横切る方向に移動させることで流路断面積を増減することで、内部を流れる排気の流量または速度を増減する構成を備えている。

[0035] ベースチャンバ 1 1 とその上方の円筒形の上部ユニット 5 8 とは後者が取り付けられた状態で、ベースチャンバ 1 1 の円筒形の側壁上端の上方に、円筒形の上部ユニット 5 8 の底面の外周端部が、これらの間に O リング等のシール部材を挟んで処理室 1 の内外を気密に封止するように載せられて取り付けられる。上部ユニット 5 8 の下部の中央部はシャワープレート 2 3 が配置され、さらにシャワープレート 2 3 の外周側の領域にリング形状を有した I R ランプユニット 5 9 が配置されると共に、I R ランプユニット 5 9 の I R 光透過窓 7 2 が上部ユニット 5 8 の下面であって処理室 1 の天面を構成している。さらに、上部ユニット 5 8 は、I R ランプユニット 5 9 及びその中心部に配置されたシャワープレート 2 3 とその上方でこれに連結されたガス供給管 5 6 の周囲をと上方とを囲む金属製の円筒形の上部ユニットカバー 6 2 を備えている。

[0036] 本例では、ウエハステージ 5 の上面の外周側領域の上方に、当該上面とこれに載せられたウエハ 2 をリング状に囲んで I R ランプユニット 5 9 が設置されて、I R 光透過窓 7 2 を透過して処理室 1 内に放射された光が周囲からウエハ 2 に照射される。放射される光は、可視光から赤外光領域の光を主とする光（ここでは I R 光と呼ぶ）を放出するものとする。

[0037] I R ランプユニット 5 9 は、シャワープレート 2 3 の周囲にリング状に配置された I R ランプ 6 0 と、I R ランプ 6 0 の上方でこれを覆って配置され放射された I R 光を処理室 1 の中央側及び下方向（載置されたウエハ 2 の方向）に向けて反射するリング形状の反射板 6 1 と、I R ランプ 6 0 の下方に配置され石英等の I R 光が透過する誘電体製のリング状の部材でシャワープレート 2 3 を囲む I R 光透過窓 7 2 を備えている。本例の I R ランプ 6 0 は

、上方から見て、シャワープレート23または処理室1の上下方向の中心の周囲に複数本が同心状に配置されたサークル型（円形状）のIRランプ60-1, 60-2, 60-3が用いられる。これら複数本のランプに代えて螺旋状に配置された1本のランプが用いられても良い。また本実施例では3周分のランプが設置されているものとしたが、2周、4周などとしてもよい。

[0038] IRランプ60は、電力を供給するIRランプ用電源73が接続されており、これらの間を電氣的に接続する給電経路上には高周波電力のノイズが低減してIRランプ用電源73に流入することを抑制するための高周波カットフィルタ74が配置されている。また、IRランプ用電源73はIRランプ60-1, 60-2, 60-3の各々に供給される電力を独立に制御できる機能を有している。

[0039] リング形状にシャワープレート23を囲むIRランプユニット59は、IR光透過窓72のリング状の処理室1に面した天面部とその内周端部の上方に接続されシャワープレート23とその背面側で貫通孔に連結されたガス供給管56を囲む円筒形の内周側壁部とを有している。円筒形の内周側壁部も天面部と同様にIR光が透過する誘電体製の部材で構成されて、放射されるIR光は円筒形部を通してシャワープレート23に照射されると共に、これを透過して処理室1内に放射される。

[0040] ウエハステージ5の円板または円筒形の金属製部材の内部には、ウエハステージ5を冷却して温度を調節するための冷媒が内側を流れる流路39が配置され、流路39の出入口と連結されたチラー38において温度が所定の範囲内の値に調節された冷媒が供給されて循環する。本実施例のチラーは、冷媒または金属製の部材を-20℃乃至-60℃の範囲の温度にできるものが用いられる。さらに、金属製の部材の上面には、ウエハ2がその上に載せられる上面を構成する誘電体製の膜が配置され、当該誘電体製の膜内にはウエハ2静電吸着によって固定するための直流電力が供給される複数の板状の電極板30が内蔵されている。それぞれの電極板30には、DC電源31各々が接続されている。

- [0041] また、ウエハ2の温度を効率よく調節するため、ウエハステージ5の誘電体膜の上面には、Heガスが供給される供給口が配置されウエハ2が載せられた状態でウエハ2の裏面と誘電体膜との間にHeガスを供給して、ウエハ2と流路39との間の熱伝達を促進できるように構成されている。また、誘電体膜はウエハ2を静電気により吸着した状態で加熱や冷却を行っても、ウエハ2の裏面に傷がつくことを抑制するためポリイミド等の樹脂で構成されている。
- [0042] また、ウエハステージ5の金属製の部材の内部には、ウエハステージ5または金属製の部材の温度を検知する温度検知器（センサ）としての熱電対70が配置され熱電対温度計71に接続されている。熱電対温度計71からの出力は図示しないエッチング処理装置100の動作を制御する制御部に送信されて、制御部内の演算器が記憶装置内に格納された予め定められたソフトウェアに記載されたアルゴリズムに基づいて、温度の値を検出すると共に、当該検出された値及びこれから得られるウエハ2の径方向の所期の温度の分布との差に応じて、所望のウエハ2の温度の分布となるように、IRランプ用電源73にIRランプ60-1，60-2，60-3各々からのIR光の出力を独立に調節する指令信号を送信する。
- [0043] なお、本実施例のエッチング処理装置100では、冷媒が内側を循環する流路39循環させるもの以外にも、ウエハステージ5内部に供給される電力に応じて温度差を形成する熱電変換デバイスであるペルチェ素子等を用いることもできる。また、フッ化水素ガス及びメタノールガス等の処理ガスに曝される処理室1のウエハステージ5以外の内側壁面を、例えば40℃乃至120℃の範囲内の温度に加熱することができる。これにより、処理室1の内部部材の表面にフッ化水素ガス及びメタノールガスが吸着することを抑制し、内部の部材に腐食が生起することを低減することができる。
- [0044] 図2を用いて、本実施例のエッチング処理装置100がウエハ2に対して施す処理の対象の膜の構造について説明する。図2は、図1に示す実施例に係るエッチング処理装置において処理されるウエハ上に形成された膜構造の

構成の概略を模式的に示す縦断面図である。図2（a）は、当該処理の開始前の、図2（b）は、当該処理の開始から所定時間後の膜構造の縦断面を示している。

- [0045] 図2（a）に示すように、本実施例がエッチング処理する対象の膜構造は、基板101上に処理対象の膜層である酸化シリコン膜（ SiO_2 膜）103と窒化シリコン膜（ SiN ）102とが交互に複数積層された構成を有している。なお、本例では窒化シリコン SiN は $\text{Si} \times \text{N}_y$ の元素記号で表すことのできる物質を示しており、例えば典型的な物質としては Si_3N_4 が挙げられる。
- [0046] さらに、膜構造にはその上面から基板101に至る当該膜構造を上下方向に貫通する深さを有した穴形状あるいは溝形状が形成されて、その穴または溝は開口部104を有してその側壁面に交互に複数積層された酸化シリコン膜（ SiO_2 膜）103及び窒化シリコン膜（ SiN ）102の各々の上下方向の断面（縦断面）が露出している。また、本例では、上記複数の積層膜の下方の基板101の上部にも穴または溝構造が形成されて開口部104を構成している。
- [0047] このような膜構造は、3D-NAND技術を用いた記憶用半導体デバイスにおいて典型的に用いられる。本例に用いられる酸化シリコン膜103の膜厚は数nm乃至100nmの範囲、窒化シリコン膜102の膜厚は数nm乃至100nmの範囲内の値にされている。また、これらの膜構造における積層膜の数は、数十から数百の範囲内の値にされている。さらに、これら積層された膜層の膜構造全体での厚さ105は、数 μm 乃至数十 μm にされ、開口部104の幅は数十nm乃至数百nmの範囲内の値を有している。
- [0048] 本実施例のエッチング処理装置100では、このような膜構造の積層膜に対して、当該積層膜のうちの酸化シリコン膜103を開口部104の側壁面の断面から、窒化シリコン膜102に対して高い選択比で、等方的にエッチングする。この際、窒化シリコン膜102がエッチングされる量は酸化シリコン膜103に対して著しく小さいため、酸化シリコン膜103のエッチン

グが、窒化シリコン膜102の開口部104の縦断面に対して横（水平）の方向（図上左右方向）に進行する。図2（b）は、図2（a）に示した状態からエッチングが開始されて予め定められた時間経過した際の膜構造の縦断面を示したものであり、この際の酸化シリコン膜103のエッチング量106は、数nm乃至数十nmであり、10nm程度が最適である。

[0049] 本実施例のエッチング処理において、酸化シリコン膜103の横方向へのエッチング量の窒化シリコン膜に対する比率（選択比）は15以上、より望ましくは20以上にされる。当該選択比が低い場合には、エッチングの対象はない窒化シリコン膜102のエッチングが並行して相当量生じるため、図3に示すように、上記予め定められたエッチング時間後の窒化シリコン膜102開口部104に面した断面の形状は、初期の平坦な面形状（図上では矩形状として示されている）ものから、断面の上下端部が削られ消耗した（丸められた）ものとなり、このような形状を有した加工後の回路の構造を有したデバイスの性能に悪影響を及ぼす虞がある。

[0050] 図3は、このような好ましくない端部の形状が生成された膜構造の断面を模式的に示している。図3は、図1に示す実施例に係るエッチング処理装置において処理されるウエハ上に形成された膜構造に好ましくない端部の形状が生成された状態の断面を模式的に示す縦断面図である。

[0051] 経験的には、選択比として、15以上、より望ましくは20以上がある場合には、図2（b）で示すような、矩形により近い形状が得られる。また、選択比が15未満、特に10以下である場合には、図3に示したような窒化シリコン膜102のエッチングされる端部の形状が、膜の上下端部からその中間部分がエッチング方向に凹まされた丸みを帯びたものになってしまい、当該膜を用いて形成される回路の形状として望ましくない。このことから、形成される半導体デバイスの回路の所期の性能を実現する上で必要となる高い選択比（選択性）を得るため、ウエハ2の温度として、 -20°C ～ -50°C が好ましい。

[0052] 図2で示された基板101としては、シリコン製のものやシリコンゲルマ

ニウム製またはこれらを含む材料から構成された基板等が好ましいが、これらに限定されるものではない。さらに、本例の処理対象の膜構造として酸化シリコン膜（ SiO_2 膜）103と窒化シリコン膜（ SiN ）102が交互に多数積層された構成を有し、これらの膜層はプラズマCVD等で連続的に上下方向に形成されたものである。これら酸化シリコン膜103及び窒化シリコン膜102は、その他の方法、例えば化学蒸着法（CVD法）、原子層堆積法（ALD法）、スパッタ法、前駆体の塗布法及び焼成法等の方法で形成されても良い。

[0053] さらに、別の問題として、エッチング処理の対象である酸化シリコン膜103が窒化シリコン膜102に上下に積層された膜層の端部が溝または穴の内側の側壁を構成する膜構造のエッチングに際して、膜構造の表面に堆積物が生じる場合がある。この場合には、IRランプ60からの電磁波（IR光）をウエハ2に照射して加熱しこれらの堆積物の昇化する温度以上ウエハ2の温度を上昇させ、生じた堆積物を熱分解し脱離させることができる。なお、本実施例ではウエハ2の加熱にIRランプ60からのIR光による輻射の加熱を用いたが、加熱はこれに限定されるものではなく、例えばウエハステージ3を加熱する、処理室1内部からウエハ2を加熱のみを行う別の装置に搬送し加熱を行ってもよい。また、IRランプ60を照射する際には、Arガスや窒素ガスを処理室1または別の加熱する装置内に導入しても良い。

[エッチングプロセス]

次に本発明で提案するエッチングプロセスについて図1と共に図4、図5を用いて説明する。図4は、図1に示す実施例に係るエッチング処理装置において実施されるウエハの処理の流れの概略を示すフローチャートである。図5は、図4に示すウエハの処理の時間の経過に伴う動作の流れの概略を示すタイムチャートである。

[0054] 図5においては、ウエハ2が処理室1内部に搬送されウエハステージ3上に載せられ静電吸着された後に、処理室1内に処理用ガスが導入されて処理が開始される。当該ウエハ2の処理は、ウエハ2上面に予め配置された処理

対象の膜層に対して処理室 1 内に導入した処理ガスによりエッチング処理を実施した後、処理室 1 内を排気し、ウエハ 2 を加熱して表面の付着物を除去する工程を 1 つの纏まりのサイクルとして、このサイクルを少なくとも 1 回以上行うものである。

[0055] すなわち、エッチング処理装置 100 は、ベースチャンバ 11 の側壁が図示しない別の真空容器である真空搬送容器と接続されており、真空搬送容器及びベースチャンバ 11 を貫通するゲートを通して、ウエハ 2 が真空搬送容器内部の搬送室から処理室 1 に搬送される。真空搬送容器内部の搬送室内には、ウエハ 2 をアームの先端のハンド上に保持する搬送用のロボットが配置され、当該ロボットのアームが伸長してハンド上のウエハ 2 がゲートを通して搬送室から処理室 1 内のウエハステージ 3 の上面上方まで移動した後、ウエハステージ 3 上にウエハ 2 が受け渡される。

[0056] 電極板 30 に直流電力が供給されてウエハ 2 がウエハステージ 3 上面の誘電体膜上に静電吸着されて保持されると、ウエハ 2 と誘電体膜との間に He ガスが導入されて、ウエハ 2 とウエハステージ 3 内部の冷媒が流れる流路 39 との間の熱伝達が促進されてウエハ 2 が冷却され温度が低下する (S101)。

[0057] S101 のウエハ 2 を冷却する工程が開始された後、ウエハ 2 の温度が低下して予め定められた範囲内の温度になったことが、熱電対 71 および熱電対温度計 72 からの出力を受けた図示しない制御部で検出されると、処理室 1 内部にウエハ 2 上面の処理対象の膜層と反応するガスを希釈するための希釈ガスが処理室 1 内に、ガス供給化 56 からシャワープレート 23 の貫通孔を通して供給される (S102)。

さらに、その後、ガス供給管 56 及びシャワープレート 23 の貫通孔を通して、処理室 1 内に処理ガスとしてフッ化水素のガスおよびアルコール（本例では、メチルアルコール）の蒸気が供給される。供給されたフッ化水素の分子とメチルアルコールの分子とが反応して活性種が形成され、当該活性種がウエハ 2 表面の処理対象の膜層を構成する材料と反応して形成された物質が

気化することで、当該膜層のエッチングが進行する（S103）。この処理ガスの導入は、予め定められた時間だけ行われる。

[0058] その後、処理室1内へのフッ化水素（HF）およびアルコールのガスの供給が停止される。処理ガスの供給の停止は、本実施例では、ガス分配器51内の原料のガス各々の経路上に配置されたバルブが制御部からの指令信号に基づいて閉塞されることで行われる。あるいは、アルコールはペーパー供給器47内のバルブ53または54が閉塞されることで行われる。S103のエッチングの工程の実施中でも、排気手段15の真空ポンプによる排気口及び真空排気配管16を通した処理室1の排気が行われており、処理ガスの導入が停止されると、処理室1内部の気相中に残留しているHFおよびアルコールのガスや、ウエハ2の処理中に形成された生成物や気化したガス等の粒子が排気される。

[0059] 本発明のエッチングに際しては、窒化シリコン膜の表面や、酸化シリコン膜103と窒化シリコン膜102とが交互に挟まれて上下方向に積層された膜層が溝または穴を有して、当該溝または穴の内側の側壁がこれらの膜層の端部で構成された膜構造の当該側壁や表面に堆積物が生成する場合がある。そこで、この付着物や堆積物を取り除くため、酸化シリコン膜103を所定時間のエッチング処理した後に、真空中でウエハ2を加熱して、堆積物や生成物を除去する工程を実施する（S105）。

[0060] 本例の加熱は、図1に示すIRランプ60からIR光をウエハ2の表面に照射して輻射によるものが用いられる。ウエハ2を加熱する手段はこれに限定されるものではなく、例えばウエハ2を誘電体膜上面に載せて保持した状態でウエハステージ3を加熱して熱伝導でウエハ2を加熱する方法や、別の装置にウエハ2を処理室1から搬送して加熱を行っても良い。また、IRランプ60からIR光を照射する際には、Arガスや窒素ガスを処理室1や別の装置内部に導入しても良い。

[0061] ウエハ2を加熱して膜層または膜構造表面の付着物、堆積物を除去した後、再度ウエハ2を所定の時間冷却して温度を低下させる（S106）。その

後、ウエハ2の処理対象の膜層に対する処理の継続及び停止が判定され、制御部により処理の継続を要すると判定された場合にはS102に戻って次の処理のサイクルが開始されることでエッチング処理が継続される。処理の継続を要しないと判定された場合には、このサイクルで処理が停止され処理対象の膜層の処理が終了される。

[0062] すなわち、S105のウエハ2の加熱の工程またはS106のウエハの冷却の工程が終了後に、処理対象の膜層である酸化シリコン膜103のエッチング量106が検出され、検出結果を受信した制御部は当該検出されたエッチング量が予め定められた値に達しているか否かを判定する(S107)。達していないと判定された場合には、制御部はS102の工程に戻り再度処理のサイクルを実施するように指令信号を発信する。達していると判定された場合には、ウエハ2の処理を停止して、ウエハ2をウエハステージ3から脱離させて処理室1の外部に搬送する指令を発信する。

[0063] なお、本例ではエッチング量106を検出した結果に基づいて、処理のサイクルの継続または停止の判定が行われているが、エッチング量106の検出に換えて、制御部においてまたは専用の計数器を具備して処理のサイクル数を計数し、所期のエッチング量が得られるものとして予め定められた回数に達したか否かが制御部で判定されても良い。

[0064] 図5において、本例のエッチング処理装置100が図4に示したウエハ2をエッチング処理する工程に沿って行う動作を、時間の経過に伴って概略を説明する。

[0065] まず、ウエハ2が搬送口ボットのアームのハンド上に保持された状態で処理室1を囲むベースチャンバ11の円筒形の側壁部材に配置されたゲートの搬送口(図示省略)を介して処理室1内に搬入され、ウエハステージ3に受け渡される。この後の時刻t1に、静電吸着のためのDC電源31から電極30に供給された直流電力によりウエハ2がウエハステージ3上面を構成する誘電体膜上に保持される。

[0066] この状態で、ウエハ2の裏面とウエハステージ3の誘電体膜上面との間に

熱伝達促進用のHeガス55が供給され、冷媒が流れる流路27が配置されたウエハステージ3との間で熱伝達が行われて、図4に示すS101に対応するウエハ2を冷却する工程が行われる。当該冷却の工程は時刻t2まで継続される。

[0067] 次に、時刻t2において図4のS102の工程として、Arガス52、およびArガス53の両方、あるいはいずれか一方が、各々の供給路上に配置されたマスフローコントローラ50の各々において流量または速度が調節されて、各々の供給路上のガス分配器51に導入されこれらのガス分配器51において複数のガス供給管56の各々に分配されシャワープレート23の貫通孔に供給される。さらに、シャワープレート23から貫通孔を通して処理室1内に、ウエハ2の上面上方から下向きに導入される。これらのArガス52、53の各々は、各々が後の工程で処理室1に導入されるHFガスを希釈する或いはアルコールガスを希釈するための希釈ガスである。

[0068] 本例において、処理室1へのこれらの希釈ガスは、酸化シリコン膜103のエッチング処理が終了するまでArガス52、53の両方あるいは何れか一方を供給しても良く、あるいはエッチング処理中に停止しても良い。また、Arガスの代わりに不活性ガスとして窒素ガスを用いることもできる。本例では、希釈ガスの導入はウエハ2上の膜構造の酸化シリコン膜103の処理が終了するまで継続的に行われる。

[0069] 次に、時刻t3において、図4のS103の工程として、HFガスおよびアルコールガスが反応性ガスとして所定の流量または速度で所定の時間だけ処理室1に供給される。この状態で、HFおよびアルコールの原子または分子が反応してウエハ2上面の酸化シリコン膜103の端面の材料の処理が開始される。

[0070] 本例において、HFガスとアルコールガスとは同時に供給されても良いし、HFガス、アルコールガスの何れか一方が他方より先に供給されても良い。さらに或いは、HFガスとアルコールガスとが交互に処理室1内に供給されても良い。工程S103は時刻t3から開始されて時刻t4まで継続され

る。

[0071] なお、先に示した反応式から判るように、HF（フッ化水素）とアルコールとの割合がガス流量（あるいはモル比）として2：1に近い場合に、酸化シリコン膜103のエッチングレートが大きくなる。

[0072] 用いられるアルコールの種類としては、メタノール（ CH_3OH ）、エタノール（ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ）、イソプロパノール（ $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$ ）等を用いることができる。本例では、低温でより高い蒸気圧が得やすいことや実験結果から選択比がより高くなることからメタノールが望ましい。なお、物理的な性質として、メタノールは水と共沸しないのに対して、エタノールは水と共沸する性質を有する。したがって、処理対象の膜中に水を多く含むような場合等では、エタノールを用いることにより当該含まれた水を効果的に除去することが可能である。

[0073] 本発明では、これらの反応性ガス希釈ガスとして、ArやN₂等の不活性ガスが用いられる。処理室1内に反応性ガスと共に導入される希釈ガスの量が多いほどエッチング処理される対象膜の処理のレートは低下する傾向がある。このことから、希釈ガスの処理室1内への供給量が、マスフローコントローラ50により供給路上の流量または速度が調節されることによって、処理対象膜のエッチングレートを所望の範囲内の値に調節することが可能となる。

[0074] 本実施例の工程S103あるいは工程S105において使用される処理室1内の圧力は、10Pa乃至2000Pa程度の範囲内の値が望ましく、特に、100Pa乃至1000Paの範囲内の値が望ましい。これらの工程における処理中の処理室1内の圧力が高い程酸化シリコン膜のエッチングレートが高くなる。ただし、処理室1の圧力が高くなるに伴って窒化シリコン膜102のエッチングレートも上昇する傾向があり、選択比は大きく向上しない結果となったことから、処理に求められる仕様や処理結果の形状の精度に応じて適切な圧力が選択されることが望ましい。

[0075] 所定の時間だけ工程S103に係る酸化シリコン膜103のエッチング処

理が行われた後、時刻 t_4 に HF ガスおよびアルコールガスを含む反応性ガスの供給が停止され、当該時刻 t_4 から図 4 の工程 S 1 0 4 としての処理室 1 の排気を開始される。この工程では、処理室 1 へのガスの供給量が低減される一方で、排気手段 1 5 による処理室 1 内の真空排気配管 1 6 を介した排気は継続され、処理室 1 の気相中に残留した HF ガスおよびアルコールガスが排気される。

[0076] 時刻 t_4 から排気が継続された後、時刻 t_5 においてウエハ 2 を冷却するための He ガス 5 5 の供給が停止される。時刻 t_2 から時刻 t_5 までの工程 S 1 0 2 乃至 S 1 0 5 の間ウエハ 2 の温度は所期の許容範囲内の値に維持されている。

[0077] 本実施例のエッチング処理においては、酸化シリコン膜 1 0 3 と窒化シリコン膜とが上下方向に交互に積層されて構成された膜層に形成された溝または穴の内側の側壁が当該積層された膜層の端部で構成された膜構造の側壁や、膜層の最上面に配置された窒化シリコン膜 1 0 2 の上面に堆積物が生成する場合がある。発明者らが全反射赤外吸収スペクトルを用いて分析した結果、このような堆積物はケイフッ化アンモニウムであることが判明した。

[0078] 上記の工程 S 1 0 3 のエッチング処理ではアンモニアは使われていないが、窒化シリコン膜 1 0 2 の表面の一部がエッチングされることにより、窒化シリコン膜 1 0 2 の窒素からアンモニアが生成されて、ケイフッ化アンモニウム $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ が生じると想定される。当該堆積物であるケイフッ化アンモニウムは、安全データシート等では 145°C で分解することが知られている。

[0079] そこで、本実施例では工程 S 1 0 3 のエッチング処理の終了後に、図 4 の S 1 0 5 の工程として、所定の真空度に減圧された処理室 1 内部でウエハ 2 の加熱を行うことにより、生成され堆積したケイフッ化アンモニウムを除去する工程を実施する。時刻 t_5 において制御部からの指令信号に応じて IR ランプ 6 0 に電力が供給されて IR 光の照射が開始される。本例のウエハ 2 の加熱では、IR (赤外) ランプ 6 0 の IR 光の輻射が用いられウエハ 2 の

温度を145℃以上に上昇させるが、加熱方法はこれに限定されるものではなく、例えばウエハステージ3を加熱する方法や、処理室1外部に配置された加熱のみを行う別の装置にウエハ2を搬送して加熱処理を行ってもよい。

[0080] また、本工程S105におけるIRランプ60からのIR光のウエハ2への照射の際には、Arガスや窒素ガス等の希ガスが処理室1内に導入されても良い。また、ウエハ2の加熱は、必要に応じて、複数回行っても良く、堆積物の生成が無いか少ない場合には行わずに次の工程に進んでも良い。本実施例のIRランプ60のIR光の輻射によるウエハ2の加熱は時刻t6まで行われる。

[0081] 時刻t6において制御部からの指令信号に応じてIRランプ60への電力の供給が停止されてIR光の照射が停止された後、図4のS106の工程として、ウエハ2の裏面とウエハステージ3の誘電体膜上面との間の隙間にHeガス55の供給が開始され、所定の時間だけウエハ2とウエハステージ3との間の熱伝達が促進されてウエハ2の冷却が行われる。この後の時刻t7において、ウエハ2の温度が所定の範囲内の値に低減されたことが熱電対70および熱電対温度計71からの出力により検出されると、図4のS107に示すエッチング量106が目標の値に到達したか否かが判定され、目標の値に到達したことが判定された場合に酸化シリコン膜103の処理が終了される。

[0082] エッチング量106が目標の値に到達していないと判定された場合には、S103に戻りS103乃至S106に示した工程が繰り返して行なわれる。この場合には、図5のタイムチャートの時刻t2乃至t7に示された工程が1つのサイクルとして、当該サイクルが目標の到達を判定されるまで複数の回数繰り返される。このような複数のサイクルの繰り返しにより、前述したエッチングの際の堆積物が多い場合等に、短い時間のS103のエッチング工程やS105の真空中のウエハ2の加熱による堆積物の除去を繰り返すことにより、ウエハ2の処理後に堆積物の残留する量が低減され処理の結果としての加工形状の精度が向上する。

実施例 2

- [0083] 次に、図9を用いて本発明の別の実施例を説明する。図9は、本発明の別の実施例に係るエッチング処理装置の全体の構成の概略を模式的に示す縦断面図である。
- [0084] 本例のエッチング処理装置200は、図1に示す実施例のエッチング処理装置100とは、ベースチャンバ11を含む下部ユニット57を有する点で構成を同じくしている。一方で、図1の実施例の上部ユニット58に代えて上部ユニットカバー61内部のIRランプユニット59及びシャワープレート23の上方で複数のガス供給管56の下方に、内部にプラズマが形成される円筒形の放電領域13を有する容器を含む放電部を備えた上部ユニット58'を有する点が、異なっている。以下の説明では、図1に示した実施例で説明した部分については、特に必要のない限り説明を省略する。
- [0085] 本図において、エッチング処理装置200は、下部ユニット57のベースチャンバ11内部に配置された処理室1の上方には、放電領域13内部でプラズマが形成されるプラズマ源を内包する上部ユニット58'が配置されている。本例の放電領域13内でのプラズマの形成にはICP放電方式が用いられる。ICP放電によるプラズマ源は、プラズマによる放電領域13を囲む石英チャンバ12の内壁のクリーニングやプラズマによる反応性ガスの生成に用いることができる。
- [0086] ICPプラズマ源を構成する外周及び内周が円筒形を有した石英チャンバ12が、処理室3の上方の円板形状を有したスリット板26の周囲に配置されたリング状のIRランプユニット59の上方に下端部を載せられて配置されている。円筒形状を有した金属製の上部ユニットカバー62の内部の石英チャンバ12の外側には、ICPコイル20が石英チャンバ12の外周側壁の周囲に隙間を開けて複数段巻かれて配置されている。
- [0087] ICPコイル20には、放電領域13内にプラズマを生成する誘導磁界を形成するための高周波電力を供給する高周波電源21が整合機22を介して接続されている。高周波電力の周波数は13.56MHzなど、数十MHz

の周波数帯が用いられるものとする。なお、高周波電源 2 1 の端子の一方は接地箇所に電氣的に接続されている。

[0088] 石英チャンバ 1 2 の円筒形の側壁の上端上方には、円板形状を有した天板 2 5 の外周縁部の下面がＯリング等のシール部材を挟んで載せられて、石英チャンバ 1 2 内部の放電領域と外部の大気圧の雰囲気との間が気密に封止されている。天板 2 5 の下方の放電領域 1 3 の上方にはこれを覆って円板形状を有したガス分散板 2 4 及びその下方のシャワープレート 2 3 が配置されている。一方、放電領域 1 3 の下方には、中央部にスリット板 2 6 が配置され放電領域 1 3 と処理室 1 とを連通する円筒形の流路 2 7 が、この流路 2 7 の外周側にはこれを囲むリング状のＩＲランプユニット 5 9 が配置されており、放電領域 1 3 の底面の中央部は流路 2 7 の上端の開口で構成されている。

[0089] 天板 2 5 にはその上方に配置された複数のガス供給管 5 6 と連結され、これらのガス供給管 5 6 はガス分散板 2 4 を上下に貫通する貫通孔と連通されている。図 1 に示す実施例のエッチング処理装置 1 0 0 と同様に複数のガス分配器 5 1 で分配されガス供給管 5 6 を通して供給される希釈ガスあるいは処理ガスは、ガス分散板 2 4 の複数の貫通孔を分散して通過し下方のシャワープレート 2 3 の複数の貫通孔を通して石英チャンバ 1 2 内部の放電領域 1 3 内に上方から導入される。

[0090] 放電領域 1 3 内に導入されたガスの粒子は、ＩＣＰコイル 2 0 からの誘導磁界により形成された誘導電流によって、励起され電離、解離を生起して放電領域 1 3 内にプラズマが生成される。プラズマ中の粒子は下方に移動して、スリット板 2 6 に複数配置された貫通孔を通過して処理室 1 内に流入する際に、プラズマ中の荷電粒子の処理室 1 への移動が妨げられて、電氣的に中性の活性化された粒子（ラジカル）が処理室 1 内に多く導入される。

[0091] 本例においても、ベースチャンバ 1 1 の下部に処理室 1 内部を排気して減圧するため真空排気部 6 3 が配置され、真空排気配管 1 6 を介して処理室 1 と連通して接続された排気手段 1 5 が配置されている。排気手段 1 5 の駆動により処理室 1 内部が排気されて減圧されると共に、処理室 1 と流路 2 7 の

内部に配置されたスリット板 26 の貫通孔と介して連通された放電領域 13 内部が排気されて減圧される。

[エッチングプロセス]

本例においても、実施例 1 と同様の処理の条件でウエハ 2 上面に配置された酸化シリコン膜 103 及び窒化シリコン膜 102 が上下方向に交互に積層された膜構造の酸化シリコン膜 103 を対象としてエッチング処理が行われる。エッチング処理装置 200 では、ICP 放電方式のプラズマの生成機構を搭載していることから、エッチングプロセス前に、酸素を用いたプラズマを形成し当該酸素プラズマの粒子による石英チャンバ 12 内部の表面をクリーニングする工程を 300 秒行う。この工程によって、石英チャンバ 12 内部の表面から放電領域 13 内に遊離して処理室 1 内に移動しウエハ 2 の表面やその処理に悪影響を生じるパーティクルを減少させることができる。

[0092] エッチングのプロセスの好ましい例として、ウエハ 2 の温度 -30°C でフッ化水素 (HF) ガス及びメタノールガスを用いて、ウエハ 2 上面に予めプラズマ CVD により形成された酸化シリコン膜 103 および窒化シリコン膜 102 のエッチングが行われる。エッチングの際に用いられるガスの組成、流量は、フッ化水素 400 sccm に対して、メタノールを 100, 200, 300, 400, 500, 600, 800 sccm の各々の値が用いられる。また、メタノールに対する希釈ガスである Ar ガスが 100 sccm で処理室 1 内に導入され、さらに、処理室 1 内にフッ化水素ガスの導入が開始されて 1 秒後にメタノールガスの導入が開始される。

[0093] エッチング中の処理室 1 内の圧力は 300 Pa を含む許容範囲内の値に維持され、120 秒間のエッチング処理が実施される。さらに、酸化シリコン 103 のエッチング処理の工程の終了後に 30 秒間処理室 1 内部が排気されて処理室 1 内部に残留して浮遊している処理ガスや反応生成物の粒子が排出される。その後、IR ランプ 60 に直流の電力が供給されて放射される IR 光をウエハ 2 の表面に 50 秒間照射して行うウエハ 2 の加熱が 2 回行われる。本例における、当該ウエハ 2 加熱の工程でのウエハ 2 の最高温度は約 25°C

0℃であった。IRランプ60からの照射が停止され加熱の工程が終了した後に、ウエハ2の温度を低下させる冷却の工程が120秒間行われた後に処理室1内でのウエハ2の処理が終了する。この後、ウエハ2が処理室1内に進入した搬送用ロボットのアーム先端のハンド部に受け渡されて処理室1外に搬出される。

[0094] 発明者らは、上記のエッチング処理装置200内部でのウエハ2表面の積層膜のエッチング処理の終了後、残り膜厚さを検出しエッチングレートを算出した。当該エッチングレートと処理ガスとして用いられたフッ化水素に対するメタノールの量との関係を図10を用いて説明する。図10は、図9に示す別の実施例に係るエッチング処理装置で実施されたエッチング処理における処理対象膜のエッチングレートと処理ガスとして用いられたフッ化水素に対するメタノールの量との関係を示すグラフである。

[0095] 図10に示すように、フッ化水素ガスに対するメタノールガスの量が少なくなるときに酸化シリコン膜のエッチングレートが大きく、窒化シリコン膜のエッチングレートは、メタノールガスの比率にあまり影響を受けないことがわかった。特にフッ化水素ガスに対するメタノールガスの量が25%～50%の場合に、窒化シリコン膜に対する酸化シリコン膜のエッチングの選択比が1.5以上になることがわかった。

[0096] 上記のフッ化水素ガスに対するメタノールガスの量が25%～50%の条件で、-30℃で、酸化シリコン膜と窒化シリコン膜の積層膜を先に示したプロセスでエッチングしたところ、図2Bに示すエッチング結果の例のように、膜構造の膜層、少なくとも処理対象膜の酸化シリコン膜103の端面は、その断面が矩形に近い形状で選択的にエッチングできることがわかった。

符号の説明

[0097] 1…処理室、
2…ウエハ、
3…ウエハステージ、
11…ベースチャンバ、

1 2 …石英チャンバ、
1 3 …放電領域、
1 4 …調圧手段、
1 5 …排気手段、
1 6 …真空排気配管、
2 0 … I C P コイル、
2 1 …高周波電源、
2 2 …整合機、
2 3 …シャワープレート、
2 4 …高ガス分散版、
2 5 …天板、
2 6 …スリット板、
2 7 …流路、
3 0 …電極、
3 1 … D C 電源、
3 8 …チラー、
3 9 …冷媒の流路、
4 5 …液体タンク、
4 6 …ヒータ、
4 7 …ベーパー供給器、 5 0, 5 0 - 2 …マスフローコントローラ、
5 1 …ガス分配器、
5 2 … A r ガス、
5 3, 5 4 …バルブ、
5 5 … H e ガス、
5 6 …ガス供給管、
5 7 …下部ユニット、
5 8, 5 8' …上部ユニット、
5 9 … I R ランプユニット、

60-1, 60-2, 60-3... IRランプ、
61...反射板、
62...上部ユニットカバー、
63...真空排気部、
64... IRランプ用電源、
70...熱電対、
71...熱電対温度計、
72... IR光透過窓、
73... IRランプ用電源、
74...高周波カットフィルタ、
101...基板、
102...窒化シリコン膜、
103...酸化シリコン膜、
104...開口部、
105...積層膜。

請求の範囲

- [請求項1] 処理室内に配置されたウエハ上に予め形成された酸化シリコン膜及び窒化シリコン膜が上下方向に交互に積層された膜層の端部が溝または穴の側壁を構成する膜構造を、前記処理室内に処理用の気体を供給してエッチングするエッチング方法であって、
- 前記処理室内にフッ化水素及びアルコールの蒸気を供給し、前記ウエハを -20°C 以下、望ましくは -20 乃至 -60°C の温度に維持して、前記酸化シリコン膜を前記端部から横方向にエッチングするエッチング方法。
- [請求項2] 請求項1に記載のエッチング方法であって、
- 前記蒸気を供給して前記酸化シリコン膜をエッチングする工程の後に前記ウエハを真空中で加熱する工程を行うエッチング方法。
- [請求項3] 請求項1または2に記載のエッチング方法において、
- 前記ウエハの温度を -50 乃至以下 -30°C の範囲に維持してエッチングするエッチング方法。
- [請求項4] 請求項1または2に記載のエッチング方法であって、
- 前記フッ化水素及びアルコールの蒸気を供給して前記酸化シリコン膜をエッチングする工程と前記ウエハを加熱する工程とを含む複数の工程を1つのサイクルとして当該サイクルを複数回繰り返して前記酸化シリコン膜をエッチングするエッチング方法。
- [請求項5] 請求項1または2に記載のエッチング方法であって、
- 前記アルコールがメタノールであるエッチング方法。
- [請求項6] 請求項1または2に記載のエッチング方法において、
- 前記フッ化水素及びアルコールの蒸気と共に不活性ガスを前記処理室内に供給するエッチング方法。
- [請求項7] 請求項2に記載のエッチング方法において、
- 前記ウエハを加熱する工程において、ランプから光を照射して前記ウエハを加熱するエッチング方法。