

明 細 書

発明の名称：真空処理方法

技術分野

[0001] 本発明は、真空処理方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスの製造工程においては、半導体装置に含まれるコンポーネントの微細化や集積化への対応が求められている。例えば、集積回路やナノ電気機械システムにおいて、構造物のナノスケール化がさらに推進されている。

[0003] 通常、半導体デバイスの製造工程において、微細パターンを成形するためにリソグラフィ技術が用いられる。この技術は、レジスト層の上にデバイス構造のパターンを適用し、レジスト層のパターンによって露出した基板を選択的にエッチング除去するものである。その後の処理工程において、エッチング領域内に他の材料を堆積させれば、集積回路を形成できる。

[0004] 従来技術として、特許文献１に、等方性エッチングをドライ処理で高精度に行うため、吸着・脱離方式の原子層エッチング処理を行う処理装置が開示されている。

[0005] この従来技術の処理装置によれば、真空容器内部の処理室内に配置されたステージ上に載置されたウエハに対して、ラジカルによる反応層生成工程と、赤外線加熱による反応層除去工程が実施される。上記反応層生成工程については、まず、処理室上部のラジカル生成空間に処理ガスを供給し、ガスを活性化することでラジカルを生成する。形成されたラジカル粒子は、下部処理室との間が連通されたガス導入管を介して、処理室に載置されたウエハ上面に供給され、ここに反応層が生成される。

[0006] さらに、上記反応層除去工程は、反応層生成工程後に実施され、ウエハ上部に配置したランプから赤外光が照射され、ウエハ上面の生成物が気化され反応層が除去される。これら工程を交互に繰り返すことにより、ウエハ表面

の処理対象の膜が除去される。

[0007] 上記エッチング処理工程では各種工程で反応生成物が発生し、処理室内に付着、あるいは堆積する課題がある。特に処理室内のチャンバ内側壁、ステージ表面、ウエハ近傍に配置されるサセプタリングに、反応生成物が付着・堆積することが多い。

[0008] 反応生成物の付着・堆積は、処理装置のエッチング性能に様々な問題をもたらす。例えば、ウエハへの影響として、エッチング処理工程中に反応生成物が処理室内に残留することに起因し、エッチング工程中に処理室内に付着・堆積した反応生成物がデバイス上に飛散することで異物となり、パターン欠陥を引き起こしたり、経時変化によりデバイスの加工寸法にばらつきが生じ、所望の性能を発揮できなくなる。また、処理装置への影響として、ステージ表面に反応生成物が堆積することで、静電吸着不良を起こすなど性能劣化を引き起こす。

[0009] これらの問題を抑制するため、定期的なクリーニングによる反応生成物の除去が要求される。代表的なクリーニング手段としては、特許文献2に記載されているように、六フッ化硫黄（ SF_6 ）ガスをアルゴン（ Ar ）ガスの混合ガスで反応性の高いハロゲンラジカルを生成し、堆積物と反応させることで反応生成物を気化し真空容器外へ排気することで除去を行う方法が広く知られている。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献1：特開2017-143186号公報

特許文献2：特開2003-273082号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] しかしながら、上記従来のクリーニング方法では、次の課題があった。

チタン（ Ti ）含有膜ウエハをエッチング処理加工した際に、チタン（ T

i) 系反応生成物が生成され、上記記載の通り真空容器内部の処理室内に付着・堆積しやすい。しかし、六フッ化硫黄 (SF_6) ガスをアルゴン (Ar) ガスの混合ガスを用いた従来技術のクリーニング方法では、シリコン (Si) 系反応生成物への反応性は高いが、チタン (Ti) 系反応生成物との反応性は低い。そのためシリコン (Si) 系反応生成物の除去効果は高いが、チタン (Ti) 系反応生成物は処理室内から除去されず付着・堆積したままとなる。

[0012] 特に、ステージ表面やサセプタリングはウエハ近傍に配置されているため、処理工程により発生するチタン (Ti) 系反応生成物が付着・堆積しやすく、それがウエハ上に飛散することで異物が多発する問題がある。

[0013] 本発明は、ウエハ上へのチタン (Ti) 系反応生成物起因による異物付着を防止しうる真空処理方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0014] 上記課題を解決するために、代表的な本発明にかかる真空処理方法の一つは、チタンを含有する膜を処理室内にてエッチングする真空処理方法において、

前記膜をエッチングする工程と、

三フッ化窒素 (NF_3) ガスとアルゴン (Ar) ガスと塩素 (Cl_2) ガスの混合ガスを用いて前記処理室内をクリーニングする工程とを有することにより達成される。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、ウエハ上へのチタン (Ti) 系反応生成物起因による異物付着を防止しうる真空処理方法を提供することができる。

上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1] 図1は、本発明の実施形態に係るプラズマ処理装置の構成の概略を示す縦断面図である。

[図2]図2は、比較例であり、図1に示すプラズマ処理装置にてクリーニング処理のシーケンスの流れを示すフローチャートである。

[図3]図3は、本実施形態で検討したクリーニング処理に使用する各ガスの組み合わせによるエッチングレート結果を示す図である。

[図4]図4は、添加した窒素（ N_2 ）ガスの流量比依存性を表すエッチングレート結果を示す図である。

[図5]図5は、図1に示すプラズマ処理装置にて実施される本実施形態のクリーニング処理のシーケンスの流れを示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0017] 本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。

図1は、本発明の実施形態に係るプラズマ処理装置100を模式的に示した縦断面図である。

[0018] まず、図1を参照してプラズマ処理装置100の構成について説明する。同図に示すプラズマ処理装置100は、真空容器101を備えており、その下部には真空容器101を減圧するため、排気用の開口が設けられ開口部から排気管を通して真空ポンプ1015が接続された構造となっている。開口部と真空ポンプ1015の経路上には調圧バルブ1016が配置され、経路または開口部の流路断面積を増減して排気の流量または速度を調整している。

[0019] 真空容器101は、大略すると真空容器上部の放電部102、および真空容器下部の処理室104により構成されている。放電部102及び処理室104は円筒形を有した空間であって、その中心軸は同軸上またはこれと見做せる程度に近似した位置に配置されている。これらの間は、同様に中心軸が合致またはこれと見做せる程度に近似した位置に配置されている円形の分散板106により区分されている。放電部102及び処理室104は、分散板106に同心円状に配置された複数の貫通孔を通して連通している。

[0020] 放電部102には円筒型の石英チャンバ107が設置されており、石英チャンバ107の外側にはICPコイル108が設置されている。ICPコイ

ル 108 は整合器 109 を介して高周波電源 110 に接続されており、プラズマ処理装置 100 は、誘導結合式プラズマ（ICP）放電方式でプラズマ 1011 を生成することができる。高周波電源 110 の高周波電力の周波数は 13.56 MHz など、数十 MHz の周波数帯を用いるものとする。

[0021] 放電部 102 の上部には天板 1012 が設置されている。天板 1012 の下部にはガス分散板が設置されており、処理ガスはガス分散板を介して真空容器 101 内に導入される。天板 1012 と放電部側壁の上端部上面との間に Oリング等のシール部材が挟まれる。これにより、放電部 102 内部と真空容器 101 外部との間が気密に封止される。

[0022] 処理ガス源 1013 から供給される処理ガスは、ガス種毎に設置されたマスフローコントローラー 1014 によって供給流量が調整される。処理ガスとして、可燃性ガス、支燃性ガス、及びこれらの混合ガス、あるいは不活性ガスにより希釈されたこれらの混合ガスが用いられる。処理ガス源 1013 と、マスフローコントローラー 1014 とで、ガス供給装置を構成する。

[0023] 真空容器 101 下部である処理室 104 は、放電部 102 及び処理室 104 の中心軸に合致またはこれと見做せると近似した位置に、ウエハ 1017 を載置する試料台 103 を配置している。

[0024] 試料台 103 と放電部 102 の間には、ウエハ 1017 を加熱するために IR ランプユニット（加熱装置）105 が設置されている。IR ランプユニット 105 は主に、電磁波としての IR 光を放射する IR ランプ 1018、IR 光を反射するための反射板 1019、IR 光透過窓 1020 からなる。

[0025] IR ランプ 1018 には、サークル型（円形状）のランプを用いる。なお、IR ランプ 1018 から、可視光から赤外光領域の光を主とした光（ここでは IR 光と呼ぶ）が放出される。IR ランプ 1018 は、電力を供給するランプ用電源 1021 に接続されており、両者の間には、ICP コイルに印加する高周波電力のノイズがランプ用電源に流入しないようにするための高周波カットフィルタ 1022 が配置されている。

[0026] 同心円上に配置された複数（図中は 3 つ）の IR ランプ 1018 は、各々

の円弧状の部分に供給される電力の大きさを各々で独立に調整可能に構成しており、ウエハ１０１７の加熱量の径方向分布を調整できるようになっている。

[0027] ＩＲランプ１０１８の上方には、放射状に出力するＩＲ光を下方（ウエハ設置方向）に向けて反射するための反射板１０１９が設置されている。

[0028] ＩＲランプユニット１０５の下面から内周側壁面にわたり、ＩＲ光を通すための石英製のＩＲ光透過窓１０２０が配置されている。

[0029] ＩＲランプユニット１０５の内周内側の空間は、上方に配置された放電部１０２内で形成されたプラズマ１０１１が通流する流路であって、当該流路内に、プラズマ中で生成されたイオンや電子を遮蔽し、ガスの中性粒子やラジカルを透過される誘電体製の分散板１０６が設置されている。

[0030] また、本実施形態では分散板１０６も石英等の透過性部材から構成されており、その外周側から放射されるＩＲ光は、分散板１０６に遮られることなくこれを透過して、大部分が処理室１０４内部に到達する。

[0031] 次に、クリーニング方法をプラズマ処理装置に適用した例を比較例として、図２のフローチャートを用いて示す。

ステップ２０１より処理を開始し、ステップ２０２で、チタン（Ｔｉ）含有膜ウエハのエッチングプロセス処理（膜をエッチングする処理）を実施する。その後、ステップ２０３で、放電部１０２に六フッ化硫黄（ＳＦ₆）ガス，アルゴン（Ａｒ）ガスを供給し放電を行う。この時解離して発生したラジカルを処理室１０４に導入し、処理室内に堆積したシリコン（Ｓｉ）系反応生成物と反応させ、ＩＲランプ１０１８からのＩＲ光の照射により加熱し脱離することでクリーニング処理を行う。その後、処理室内を浮遊している反応生成物を処理室１０４から排気するため、調圧バルブ１０１６により排気圧を上下させてパージを行う。

[0032] しかし、六フッ化硫黄（ＳＦ₆）ガスをアルゴン（Ａｒ）ガスで希釈した混合ガスを用いたクリーニング方法では、チタン（Ｔｉ）系反応生成物の除去効果が低い。

[0033] これに対し本発明者は、チタン（Ti）含有膜ウエハを処理した際に発生したチタン（Ti）系反応生成物を除去するために、反応性の高いラジカルと反応させ揮発性の高い反応生成物を生成すれば、真空容器外へ排気し除去することが可能ではないかと思考した。

[0034] そこで本発明者は、処理室104内に堆積したチタン（Ti）系反応生成物を模擬し、チタン（Ti）含有膜ウエハにてエッチングレートを確認する実験を実施した。かかる実験で、チタン（Ti）含有膜ウエハとして窒化チタン（TiN）膜ウエハを供試した。エッチングレートが高いとチタン（Ti）系反応生成物との反応性が高くなるため、クリーニング効果が向上することが期待される。

[0035] 次に、図3に示す各ガスの組み合わせでの、エッチングレートを確認する実験結果を示す。

[0036] 比較のため、六フッ化硫黄（SF₆）ガスをアルゴン（Ar）ガスで希釈した混合ガスを用いたクリーニングにてエッチングレート確認実験を行ったところ、4.2nm/minのエッチングレート結果301が得られた。

[0037] 続いて、本実施形態であるクリーニングに用いるガスのエッチングレート確認実験を行った。図1のプラズマ処理装置で、チャンバ内の圧力を真空ポンプ1015と調圧バルブ1016にて125Pa以下に設定し、ソースRF電力を800Wの条件下にて実験を行った。また、六フッ化硫黄（SF₆）ガスの代わりにフッ素系ガスで最も高レートを得られる三フッ化窒素（NF₃）ガスを使用した。三フッ化窒素（NF₃）ガスを用いることで結合エネルギーの高いチタン（Ti）系反応生成物に反応しやすく、揮発性の高い四フッ化チタン（TiF₄）が生成され除去することができる。

[0038] さらに、金属膜との反応性が高い塩素（Cl₂）ガスを添加することで、四塩化チタン（TiCl₄）が生成される。四フッ化チタン（TiF₄）に比べ四塩化チタン（TiCl₄）は蒸気圧が高いため、低温部でも効率よくチタン（Ti）系反応生成物を除去することができる。

[0039] 以上より、三フッ化窒素（NF₃）ガス、塩素（Cl₂）ガス、アルゴン（

A r) ガスの混合ガスを用いたクリーニングの実験を行ったところ、11.4 nm/minのエッチングレート結果302が得られた。六フッ化硫黄 (SF_6) ガス、アルゴン (A r) ガスの混合ガスを用いた実験結果と比較してエッチングレートが増加しており、チタン (T i) 系反応生成物へのクリーニング効果が高いことが判る。

[0040] さらに本発明者は、上記の三フッ化窒素 (NF_3) ガス、塩素 (Cl_2) ガス、アルゴン (A r) ガスの混合ガスに、窒素 (N_2) ガスを添加してエッチングレート確認実験を行った。窒素 (N_2) ガスを添加することで、窒化チタン (T i N) の結合をチタン (T i) と窒素 (N_2) として切り離すことができ、チタン (T i) の塩化、フッ化を助長することができる。

[0041] このように、三フッ化窒素 (NF_3) ガス、塩素 (Cl_2) ガス、アルゴン (A r) ガス、窒素 (N_2) ガスの混合ガスを用いたクリーニングにて確認実験を行ったところ、72.6 nm/minのエッチングレート結果303が得られた。窒素 (N_2) ガスを添加することで、より窒化チタン (T i N) のレートを増加させることが可能となった。

[0042] 次に、窒素 (N_2) ガス添加流量依存性についてエッチングレートの確認実験を実施した。実験の結果、図4に示すように、三フッ化窒素 (NF_3) ガス、塩素 (Cl_2) ガス、アルゴン (A r) ガスの混合ガスに対する、窒素 (N_2) ガスの流量比が0パーセントの場合もエッチングレートは確保されていることがわかった。

[0043] また、0パーセントから上記流量比が増大するにつれてエッチングレートも増加し、上記流量比が14パーセントとなるときがエッチングレート最大となった。その後は、流量比30パーセントまで、エッチングレートが漸次低下する特性を持つことが判明した。以上より、窒素 (N_2) ガスを添加することで、クリーニング効果が高まるが、窒素 (N_2) ガスを添加しすぎるとエッチングレートが低下するため、効率のよいクリーニングを実施することができなくなるおそれがあることがわかった。

[0044] そのため、三フッ化窒素 (NF_3) ガス、塩素 (Cl_2) ガス、アルゴン (

A r) ガス、窒素 (N_2) ガスの混合ガスに対する窒素 (N_2) ガスの流量比が、0%を超え、30%以下の範囲となるよう設定すると好ましい。

[0045] 以上より得られたチタン (T i) 系反応生成物へのクリーニングの実施形態を、真空処理方法として図5のフローチャートに示すが、図2に示す工程と共通する工程の説明は省略する。ただし、膜のエッチング工程で、サイクルエッチング(原子層エッチング (A t o m i c L a y e r E t c h i n g : A L E) を含む)が行われると好ましい。または、通常のプラズマを用いたエッチングでも良い。本実施形態によれば、クリーニング処理工程であるステップ203の後に、クリーニング処理工程であるステップ501として、上記実験により効果が確認された三フッ化窒素 ($N F_3$) ガスと塩素 ($C l_2$) ガスとアルゴン (A r) ガスと窒素 (N_2) ガスの混合ガスを放電部102に供給し放電を行い、この時解離して発生したラジカル(またはプラズマ)を処理室104に導入し、処理室内に堆積したチタン (T i) 系反応生成物と反応させ、I Rランプ1018により加熱して脱離することによってクリーニングを行う。このクリーニングによりチャンバ内に付着・堆積したチタン (T i) 系反応生成物を効率よく除去することができる。

[0046] また、本実施形態では、誘導結合型プラズマエッチング装置を使用したのが、本発明は、プラズマの生成方法の如何にかかわらず適用可能である。例えば、ヘリコン波プラズマエッチング装置、マイクロ波を用いたE C R プラズマエッチング装置、容量結合型プラズマエッチング装置等に対しても、本発明は適用可能である。

さらに、三フッ化窒素 ($N F_3$) ガスと塩素 ($C l_2$) ガスとアルゴン (A r) ガスの混合ガスまたは、三フッ化窒素 ($N F_3$) ガスと塩素 ($C l_2$) ガスとアルゴン (A r) ガスと窒素 (N_2) ガスの混合ガスにより生成されたプラズマを用いたクリーニングでもチャンバ内に付着・堆積したチタン (T i) 系反応生成物を効率よく除去することができる。

[0047] 上記した実施形態は、本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるもの

ではない。また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成を加えることも可能である。また、各実施形態の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

符号の説明

[0048] 100 プラズマ処理装置、101 真空容器、102 放電部、104 処理室、105 IRランプユニット、106 分散板、107 石英チャンバ、108 ICPコイル、109 整合器、110 高周波電源、1011 プラズマ、1012 天板、1015 真空ポンプ、1016 調圧バルブ、1017 ウエハ、1018 IRランプ、1019 反射板、1020 IR光透過板、1021 ランプ用電源、1022 高周波カットフィルタ

請求の範囲

- [請求項1] チタンを含有する膜を処理室内にてエッチングする真空処理方法において、
- 前記膜をエッチングする工程と、
- 三フッ化窒素(NF_3)ガスとアルゴン (Ar) ガスと塩素 (Cl_2) ガスの混合ガスを用いて前記処理室内をクリーニングする工程とを有することを特徴とする真空処理方法。
- [請求項2] 請求項 1 に記載の真空処理方法において、
- 前記混合ガスは、さらに窒素 (N_2) ガスを含むことを特徴とする真空処理方法。
- [請求項3] 請求項 2 に記載の真空処理方法において、
- 前記膜のエッチングは、サイクルエッチングであり、
- 前記処理室内をクリーニングする工程は、前記混合ガスを用いて生成されたラジカルにより前記処理室内をクリーニングすることを特徴とする真空処理方法。
- [請求項4] 請求項 2 に記載の真空処理方法において、
- 前記膜のエッチングは、プラズマを用いたエッチングであり、
- 前記処理室内をクリーニングする工程は、前記混合ガスを用いて生成されたプラズマにより前記処理室内をクリーニングすることを特徴とする真空処理方法。
- [請求項5] 請求項 2 に記載の真空処理方法において、
- 前記三フッ化窒素(NF_3)ガスと前記アルゴン (Ar) ガスと前記塩素 (Cl_2) ガスと前記窒素 (N_2) ガスの混合ガスの流量に対する前記窒素 (N_2) ガスの流量比を 30%以下とすることを特徴とする真空処理方法。
- [請求項6] 請求項 2 に記載の真空処理方法において、
- 前記処理室内をクリーニングする工程の前、六フッ化硫黄(SF_6)ガスとアルゴン (Ar) ガスの混合ガスを用いて前記処理室内をクリ

ーニングする工程をさらに有することを特徴とする真空処理方法。

[請求項7]

請求項6に記載の真空処理方法において、

前記六フッ化硫黄(SF_6)ガスと前記アルゴン (Ar) ガスの混合ガスを用いて前記処理室内をクリーニングする工程は、前記六フッ化硫黄(SF_6)ガスと前記アルゴン (Ar) ガスの混合ガスを用いて生成されたラジカルを前記処理室内に供給すると共に光を照射しながら前記処理室内をクリーニングすることを特徴とする真空処理方法。