

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-203035

(P2006-203035A)

(43) 公開日 平成18年8月3日(2006.8.3)

| | | |
|--------------------------|-----------------------|-------------|
| (51) Int. Cl. | F I | テーマコード (参考) |
| HO 1 L 21/3065 (2006.01) | HO 1 L 21/302 I O 5 A | 5 F O O 4 |
| HO 1 L 21/76 (2006.01) | HO 1 L 21/76 L | 5 F O 3 2 |

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 13 頁)

| | | | |
|-----------|----------------------------|----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願2005-13911 (P2005-13911) | (71) 出願人 | 000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番6号 |
| (22) 出願日 | 平成17年1月21日 (2005.1.21) | (74) 代理人 | 100099944 弁理士 高山 宏志 |
| | | (72) 発明者 | 清水 昭貴 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内 |
| | | (72) 発明者 | 岡 広実 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内 |
| | | Fターム(参考) | 5F004 AA09 BA04 CA01 DA00 DA04 DA16 EA13 EA28 EB04 5F032 AA35 AA36 AA37 AA44 DA04 DA23 DA33 |

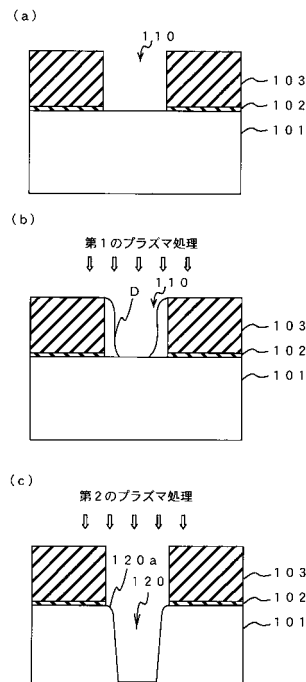
(54) 【発明の名称】 プラズマエッチング方法

(57) 【要約】

【課題】 高い精度でシリコン基板に溝を形成するとともに、この溝の肩部に丸み形状を持たせながら迅速な処理が可能なエッチング方法を提供する。

【解決手段】 第1のプラズマ処理では、 CHF_3 、 CH_2F_2 、 CH_3F 等のハイドロフルオロカーボンを含むガスを用い、溝部110の少なくとも側壁に堆積物Dを形成する。引き続き第2のプラズマ処理では、シリコン基板101を、エッチングガスを用いてプラズマエッチングし、トレンチ120を形成する。第1のプラズマ処理によって形成された堆積物Dが保護膜として機能し、溝110の側壁付近ではシリコン基板101のエッチングレートが低下するので、形成されたトレンチ120の肩部120aは丸みを持つ曲面形状に形成される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも、被エッチング層と、該被エッチング層上に形成されパターンニングされたマスク層と、を有する被処理体に対してエッチングを行い、前記被エッチング層に前記マスク層のパターンに対応する凹部を形成するプラズマエッチング方法であって、

前記マスク層において前記パターンを構成する開口の少なくとも前記被エッチング層と前記マスク層との境界近傍の被エッチング層上に堆積物を形成する第 1 のプラズマ処理工程と、

前記第 1 のプラズマ処理工程の後に、前記被エッチング層に対するエッチングを行なって前記凹部を形成する第 2 のプラズマ処理工程と、

を含み、

前記第 2 のプラズマ処理工程では、前記凹部を構成する側壁の上端の角部を曲面形状に形成することを特徴とする、プラズマエッチング方法。

【請求項 2】

前記第 1 のプラズマ処理工程における処理ガスは、ハイドロフルオロカーボンを含むガスであることを特徴とする、請求項 1 に記載のプラズマエッチング方法。

【請求項 3】

前記第 1 のプラズマ処理工程における処理ガスは、 CHF_3 、 CH_2F_2 または CH_3F を含むガスであることを特徴とする、請求項 1 に記載のプラズマエッチング方法。

【請求項 4】

前記第 2 のプラズマ処理工程における処理ガスは、ハロゲン含有ガスであることを特徴とする、請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載のプラズマエッチング方法。

【請求項 5】

前記ハロゲン含有ガスは、 HBr もしくは Cl_2 、またはこれらの両方を含むガスであることを特徴とする、請求項 4 に記載のプラズマエッチング方法。

【請求項 6】

前記第 1 のプラズマ処理工程における処理時間は、3 秒以上 60 秒以下であることを特徴とする、請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載のプラズマエッチング方法。

【請求項 7】

前記第 1 のプラズマ処理工程における処理時間により、前記凹部を構成する側壁の上端の角部の曲率半径を調節し、前記第 2 のプラズマ処理工程における処理温度によって、前記凹部を構成する側壁の角度を調節することを特徴とする、請求項 6 に記載のプラズマエッチング方法。

【請求項 8】

前記第 1 のプラズマ処理工程における処理ガスにエッチング作用を有するガスを混合して、前記凹部を構成する側壁の上端の角部の曲率半径を調節することを特徴とする、請求項 6 または請求項 7 に記載のプラズマエッチング方法。

【請求項 9】

シャロートレンチアイソレーションにおけるトレンチエッチングに適用されることを特徴とする、請求項 6 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載のプラズマエッチング方法。

【請求項 10】

少なくとも、シリコン基板と、該シリコン基板上に形成されたシリコン酸化膜と、該シリコン酸化膜の上に形成されたシリコン窒化膜と、を有し、前記シリコン酸化膜と前記シリコン窒化膜がマスク層としてパターンニングされて開口を形成している被処理体に対してエッチングを行い、前記シリコン基板上に前記マスク層のパターンに対応するトレンチを形成するプラズマエッチング方法であって、

構成元素に C と F と H を含む第 1 の処理ガスのプラズマによって、前記マスク層において前記パターンを構成する開口の少なくとも前記シリコン基板と前記マスク層との境界近傍のシリコン基板上に堆積物を形成する第 1 のプラズマ処理工程と、

前記第 1 のプラズマ処理工程の後に、第 2 の処理ガスのプラズマにより前記シリコン基

10

20

30

40

50

板のエッチングを行なって前記トレンチを形成する第2のプラズマ処理工程と、
を含み、

前記第2のプラズマ処理工程では、前記トレンチを構成する側壁の上端の角部を曲面形状に形成することを特徴とする、プラズマエッチング方法。

【請求項11】

プラズマを発生させるプラズマ供給源と、

前記プラズマにより、被処理体に対しエッチング処理を行なうための処理室を区画する処理容器と、

前記処理容器内で前記被処理体を載置する支持体と、

前記処理容器内を減圧するための排気手段と、

前記処理容器内にガスを供給するためのガス供給手段と、

請求項1から請求項10のいずれか1項に記載されたプラズマエッチング方法が行なわれるように制御する制御部と、

を備えたことを特徴とする、プラズマエッチング装置。

10

【請求項12】

コンピュータ上で動作し、実行時に、請求項1ないし請求項10のいずれか1項に記載されたプラズマエッチング方法が行なわれるようにプラズマ処理装置を制御することを特徴とする、制御プログラム。

【請求項13】

コンピュータ上で動作する制御プログラムが記憶されたコンピュータ記憶媒体であって

20

、
前記制御プログラムは、実行時に、請求項1ないし請求項10のいずれか1項に記載されたプラズマエッチング方法が行なわれるように、プラズマ処理装置を制御するものであることを特徴とする、コンピュータ記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラズマエッチング方法に関し、詳細には、例えば、半導体装置の製造過程の素子分離技術であるシャロートレンチアイソレーション(Shallow Trench Isolation; STI)におけるトレンチ形成などに適用可能なプラズマエッチング方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

シリコン基板上に形成される素子を電気的に分離する技術として、STIが知られている。STIでは、シリコン窒化膜などをマスクとしてシリコンをエッチングしてトレンチを形成し、その中にSiO₂などの絶縁膜を埋め込んだ後、化学機械研磨(CMP; Chemical Mechanical Polishing)処理によりマスク(シリコン窒化膜)をストッパーとして平坦化する工程が実施される。

【0003】

ところで、近年では、LSIの高集積化、高速化の要請からLSIを構成する半導体素子のデザインルールが益々微細化されるとともに、省電力化の要請も高まっている。STIにおいて微細なトレンチ形成を行なう場合、エッチングによって形成したトレンチの肩部(溝の側壁の上端の角部)の形状が鋭角的になる傾向がある。その結果、この肩部を介してゲート電極とアクティブ領域間のリーク電流が増大し、消費電力を増加させる要因になるという課題があった。

40

【0004】

このため、処理ガスとしてHBrとN₂を含む混合ガスを用いて溝の側壁の上端に丸みを形成するプラズマ処理を施す第1の工程と、シリコン基板のシリコンに溝を形成するプラズマ処理を施す第2の工程と、処理ガスとしてHBrとCl₂を含む混合ガスを導入して溝の底部分に丸みを形成するプラズマ処理を施す第3の工程を行なうエッチング方法が提案されている(例えば、特許文献1)。

50

【特許文献1】特開2003-218093号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記特許文献1に記載のエッチング方法は、第1の工程を実施することにより、トレンチの肩部に丸み形状(トップ・ラウンディング)を形成することが可能であり、これによってリーク電流を低減できる優れた技術である。しかし、特許文献1の方法では、第1工程においてシリコン基板をプラズマエッチングして浅い溝を形成し、次いで第2の工程、第3の工程を実施する多段階のプラズマエッチング方法であることから、通算のエッチング時間が長くなることにより、マスクの肩落ちが生じる場合があり、微細加工の精度を高める上で改良の余地が残されていた。また、特許文献1の方法では、肩部に精度良く丸み形状を持たせるべく第1の工程と第2の工程で基板温度(下部電極温度)を変化させるため、この温度調整に時間を要し、連続処理に要する時間が長くなる傾向があった。このため、スループットをより向上させ得るプロセスの提供が求められていた。

10

【0006】

従って、本発明の目的は、高い精度でシリコン基板に溝を形成するとともに、この溝の肩部に丸み形状を持たせながら迅速な処理が可能な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】

【0007】

上記課題を解決するため、本発明の第1の観点によれば、
少なくとも、被エッチング層と、該被エッチング層上に形成されパターンニングされたマスク層と、を有する被処理体に対してエッチングを行い、前記被エッチング層に前記マスク層のパターンに対応する凹部を形成するプラズマエッチング方法であって、

20

前記マスク層において前記パターンを構成する開口の少なくとも前記被エッチング層と前記マスク層との境界近傍の被エッチング層上に堆積物を形成する第1のプラズマ処理工程と、

前記第1のプラズマ処理工程の後に、前記被エッチング層に対するエッチングを行なって前記凹部を形成する第2のプラズマ処理工程と、
を含み、

30

前記第2のプラズマ処理工程では、前記凹部を構成する側壁の上端の角部を曲面形状に形成することを特徴とする、プラズマエッチング方法が提供される。

【0008】

上記第1の観点のプラズマエッチング方法において、前記第1のプラズマ処理工程における処理ガスは、ハイドロフルオロカーボンを含むガスであることが好ましく、 CHF_3 、 CH_2F_2 または CH_3F を含むガスであることがより好ましい。

また、前記第2のプラズマ処理工程における処理ガスは、ハロゲン含有ガスであることが好ましく、ハロゲン含有ガスとしては、 HBr もしくは Cl_2 、またはこれらの両方を含むガスであることが好ましい。

また、前記第1のプラズマ処理工程における処理時間は、3秒以上60秒以下であることが好ましい。

40

また、前記第1のプラズマ処理工程における処理時間により、前記凹部を構成する側壁の上端の角部の曲率半径を調節し、前記第2のプラズマ処理工程における処理温度によって、前記凹部を構成する側壁の角度を調節することが好ましい。

また、前記第1のプラズマ処理工程における処理ガスにエッチング作用を有するガスを混合して、前記凹部を構成する側壁の上端の角部の曲率半径を調節することが好ましい。

以上のような第1の観点のプラズマエッチング方法は、シャロートレンチアイソレーションにおけるトレンチエッチングに適用されることが好ましい。

【0009】

また、本発明の第2の観点によれば、少なくとも、シリコン基板と、該シリコン基板上

50

に形成されたシリコン酸化膜と、該シリコン酸化膜の上に形成されたシリコン窒化膜と、を有し、前記シリコン酸化膜と前記シリコン窒化膜がマスク層としてパターンニングされて開口を形成している被処理体に対してエッチングを行い、前記シリコン基板に前記マスク層のパターンに対応するトレンチを形成するプラズマエッチング方法であって、

構成元素にCとFとHを含む第1の処理ガスのプラズマによって、前記マスク層において前記パターンを構成する開口の少なくとも前記シリコン基板と前記マスク層との境界近傍のシリコン基板上に堆積物を形成する第1のプラズマ処理工程と、

前記第1のプラズマ処理工程の後に、第2の処理ガスのプラズマにより前記シリコン基板のエッチングを行なって前記トレンチを形成する第2のプラズマ処理工程と、
を含み、

10

前記第2のプラズマ処理工程では、前記トレンチを構成する側壁の上端の角部を曲面形状に形成することを特徴とする、プラズマエッチング方法が提供される。

【0010】

また、本発明の第3の観点によれば、プラズマを発生させるプラズマ供給源と、

前記プラズマにより、被処理体に対しエッチング処理を行なうための処理室を区画する処理容器と、

前記処理容器内で前記被処理体を載置する支持体と、

前記処理容器内を減圧するための排気手段と、

前記処理容器内にガスを供給するためのガス供給手段と、

上記第1の観点または第2の観点のプラズマエッチング方法が行なわれるように制御する制御部と、

20

を備えたことを特徴とする、プラズマエッチング装置が提供される。

【0011】

また、本発明の第4の観点によれば、コンピュータ上で動作し、実行時に、上記第1の観点または第2の観点のプラズマエッチング方法が行なわれるようにプラズマ処理装置を制御することを特徴とする、制御プログラムが提供される。

【0012】

また、本発明の第5の観点によれば、コンピュータ上で動作する制御プログラムが記憶されたコンピュータ記憶媒体であって、

前記制御プログラムは、実行時に、上記第1の観点または第2の観点のプラズマエッチング方法が行なわれるように、プラズマ処理装置を制御するものであることを特徴とする、コンピュータ記憶媒体が提供される。

30

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、第1のプラズマ処理で形成された堆積物によって、開口の側壁付近（マスク層との境界近傍）でシリコン基板などの被エッチング層のエッチングの進行が抑制され、凹部の肩部を丸み形状にすることができる。しかも、丸みの大きさ（曲率半径）は、第1のプラズマ処理の時間によって簡単に制御できる。従って、STI等のトレンチ形成において、精度良く、かつ高いスループットで肩部に丸みを持った凹部を形成できる。このエッチング方法によって形成された凹部を利用して素子分離領域を形成した半導体装置においては、例えばゲート電極とアクティブ領域との間のリーク電流が抑制され、省電力化の要請にも対応可能である。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

以下、図面を参照しながら、本発明の好ましい形態について説明する。

図1は、本発明の一実施形態を説明するため、例えばSTIなどのシリコントレンチエッチング工程における半導体ウエハ（以下、単に「ウエハ」と記す）Wの縦断面の要部を拡大して模式的に示すものである。図1(a)に示すとおり、ウエハWを構成するシリコン基板101上には、例えばSiO₂などのシリコン酸化膜102が形成され、さらにその上には、例えばSi₃N₄などのシリコン窒化膜103が形成されている。このシリコ

50

ン窒化膜 103 は、ハードマスクとして機能する。

【0015】

シリコン窒化膜 103 およびシリコン酸化膜 102 は、所定形状にパターニングされてマスク層を構成しており、図 1 (a) では、パターンを構成する開口としての溝部 110 が図示されている。なお、シリコン窒化膜 103 とシリコン酸化膜 102 のパターニングは、ここでは図示しない工程で、例えばフォトリソグラフィ技術により形成されたレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことにより実施できる。

【0016】

第 1 のプラズマ処理の様態を図 1 (b) に示す。この第 1 のプラズマ処理では、溝部 110 の少なくとも側壁付近の被エッチング層上、つまり、被エッチング層であるシリコン基板 101 とマスク層 (この例では、シリコン窒化膜 103 およびシリコン酸化膜 102) との境界近傍のシリコン基板 101 の露出面に堆積物 D を形成する。

第 1 のプラズマ処理における処理ガスとしては、堆積物 D を形成できるガス種であればよいが、例えば構成元素に少なくとも C と F と H を含む処理ガスを用いることができる。このようなガスの例としては、例えば、 CHF_3 、 CH_2F_2 、 CH_3F 等のハイドロフルオロカーボンを含むガスが好ましい。ハイドロフルオロカーボンは、第 1 のプラズマ処理によって重合体を生成するため、ウエハ W 上に堆積物 D が形成される。この際、第 1 のプラズマ処理では、例えば、上下部電力印加型プラズマエッチング装置 (図 3 参照) を用い、下部電極に高周波電力を印加してバイアス電圧を発生させることによって、プラズマ中のイオン成分をウエハ W へ入射させることが好ましい。これによって、シリコン基板 101 が露出している溝部 110 の底面では、シリコン基板 101 とマスク層との境界近傍に堆積物 D が厚く形成され、溝部 110 の底面の中央付近では堆積物 D があまり形成されない。

【0017】

第 1 のプラズマ処理における処理ガスとして、例えばハイドロフルオロカーボンと希ガスや N_2 などの不活性ガスを含む混合ガスを用いることも可能である。希ガスとしては、Ar、He、Xe、Kr 等が例示される。

また、第 1 のプラズマ処理における処理ガス中には、エッチング作用を持つガス、例えば、 CF_4 、 O_2 、 SF_6 、 NF_3 等を混合することができる。処理ガス中にエッチング作用を持つガスを所定比率で混在させて、形成される堆積物 D を除去する作用を与えることによって、堆積物 D の堆積レートをコントロールすることができる。つまり、エッチング作用を持つガスを混合することによって、ハイドロフルオロカーボンのように堆積性が強いガスを単独で用いる場合に比べ、堆積レートの制御が容易になる。

【0018】

次に、図 1 (c) に示すように、第 2 のプラズマ処理によって、シリコン酸化膜 102 とシリコン窒化膜 103 をマスクとして、シリコン基板 101 にトレンチ 120 を形成するためのエッチングが行なわれる。

すなわち、単結晶シリコンからなるシリコン基板 101 を、エッチングガスを用いてプラズマエッチングし、同図 (c) に示すとおり、シリコン基板 101 に、トレンチ 120 を形成する。この際、第 1 のプラズマ処理によって形成された堆積物 D が存在することにより、溝 110 の側壁付近では溝 110 の底部中央に比べてエッチングが遅くなる。つまり、堆積物 D が保護膜として機能し、溝 110 の側壁付近ではシリコン基板 101 のエッチングレートが低下する。その結果、形成されたトレンチ 120 の肩部 [図 1 (c) に符号 120 a で示す] が丸みを持つ曲面形状に形成される。

【0019】

第 2 のプラズマ処理は、例えば通常の STI におけるトレンチエッチングと同様の条件で実施することができる。第 2 のプラズマ処理工程における処理ガスとしては、エッチング作用を有するガスであればよいが、例えばハロゲン含有ガスを用いることが好ましい。ハロゲン含有ガスとしては、例えば、 HBr 、 Cl_2 等を含むガス、またはこれらの混合ガスを挙げることができる。前記第 2 のプラズマ処理工程における処理ガスには、必要に

10

20

30

40

50

応じて O_2 、He、Ar等のガスを混合することもできる。

【0020】

図2に、第2のプラズマ処理工程後のウエハWの要部の断面構造を拡大して示す。第2のプラズマ処理工程により形成されたトレンチ120は、図2中、円形の破線で囲った部分(肩部120a)の形状が曲面を持つようになる。図1(b)に示す第1のプラズマ処理で形成される堆積物Dが多くなれば、溝部110の底部の角付近(被エッチング層であるシリコン基板101とマスク層との境界付近)でシリコン基板101のエッチングがより多く抑制されるので、トレンチ120の肩部120aの丸みも大きく形成される。

【0021】

堆積物Dの量は、同じ条件であれば第1のプラズマ処理工程における処理時間に比例して多くなる。従って、第1のプラズマ処理工程の処理時間をコントロールすることにより肩部120aの丸みの大きさ(曲率半径)をコントロールすることができる。肩部120aの丸みの曲率半径としては、例えば5nm~30nm程度に調整することが好ましい。このような観点から、第1のプラズマ処理工程における処理時間は、特に限定されるものではないが、例えば、3秒以上60秒以下の範囲から選択することができ、5秒以上30秒以下が好ましい。

10

【0022】

また、堆積物Dの量は、前記したように第1のプラズマ処理における処理ガスの組成、例えば処理ガス中にエッチング作用を持つガスを配合することによって制御できる。従って、処理ガスの組成を選択することによっても肩部の丸みの大きさ(曲率半径)をコントロールすることができる。

20

【0023】

第2のプラズマ処理において、温度などの条件を制御することによって、トレンチ120の側壁の角度を変化させ、テーパ状に形成したり、トレンチ120の底のコーナー部120bに丸みを持たせたりすることもできる。トレンチ120の側壁の角度は、例えば $82^\circ \sim 88^\circ$ とすることが好ましい。

また、コーナー部120bに丸みを持たせることにより、絶縁物理込み後の応力を緩和するとともにリーク電流を低減し、半導体装置の信頼性を向上させることができる。

【0024】

図3は、本発明方法の実施に好適に使用可能なプラズマエッチング装置の構成例を模式的に示すものである。このプラズマエッチング装置1は、電極板が上下平行に対向し、双方に高周波電源が接続された容量結合型平行平板エッチング装置として構成されている。

30

【0025】

このプラズマエッチング装置1は、例えば表面がアルマイト処理(陽極酸化処理)されたアルミニウムからなる円筒形状に成形されたチャンパー2を有しており、このチャンパー2は接地されている。チャンパー2内には、例えばシリコンからなり、その上に被処理体として、所定の膜が形成されたウエハWを水平に載置し、下部電極として機能するサセプタ5がサセプタ支持台4に支持された状態で設けられている。このサセプタ5にはハイパスフィルター(HPF)6が接続されている。

【0026】

サセプタ支持台4の内部には、温度調節媒体室7が設けられており、導入管8を介して温度調節媒体室7に温度調節媒体が導入、循環され、サセプタ5を所望の温度に制御できるようにになっている。

40

【0027】

サセプタ5は、その上中央部が凸状の円板状に成形され、その上にウエハWと略同形の静電チャック11が設けられている。静電チャック11は、絶縁材の間に電極12が介在された構成となっており、電極12に接続された直流電源13から例えば1.5kVの直流電圧が印加されることにより、クーロン力によってウエハWを静電吸着する。

【0028】

そして、絶縁板3、サセプタ支持台4、サセプタ5、さらには静電チャック11には、

50

被処理体であるウエハWの裏面に、伝熱媒体、例えばHeガスなどを所定圧力（バックプレッシャー）にて供給するためのガス通路14が形成されており、この伝熱媒体を介してサセプタ5とウエハWとの間の熱伝達がなされ、ウエハWが所定の温度に維持されるようになっている。

【0029】

サセプタ5の上端周縁部には、静電チャック11上に載置されたウエハWを囲むように、環状のフォーカスリング15が配置されている。このフォーカスリング15はセラミックスあるいは石英などの絶縁性材料からなり、エッチングの均一性を向上させるように作用する。

【0030】

サセプタ5の上方には、このサセプタ5と平行に対向して上部電極21が設けられている。この上部電極21は、絶縁材22を介して、チャンバー2の上部に支持されており、サセプタ5との対向面を構成し、多数の吐出孔23を有する、例えば石英からなる電極板24と、この電極24を支持する導電性材料、例えば表面がアルマイト処理されたアルミニウムからなる電極支持体25とによって構成されている。なお、サセプタ5と上部電極21との間隔は、調節可能とされている。

10

【0031】

上部電極21における電極支持体25の中央には、ガス導入口26が設けられ、さらにこのガス導入口26には、ガス供給管27が接続されており、さらにこのガス供給管27には、バルブ28並びにマスフローコントローラ29を介して、処理ガス供給源30が接続され、この処理ガス供給源30から、プラズマエッチングのためのエッチングガスが供給されるようになっている。なお、図3では、一つの処理ガス供給源30のみを代表的に図示しているが、処理ガス供給源30は複数設けられており、例えば、 CHF_3 、Ar、 Cl_2 、HBr、 O_2 等のガスをそれぞれ独立に流量制御して、チャンバー2内に供給できるよう構成されている。

20

【0032】

チャンバー2の底部には排気管31が接続されており、この排気管31には排気装置35が接続されている。排気装置35はターボ分子ポンプなどの真空ポンプを備えており、これによりチャンバー2内を所定の減圧雰囲気、例えば1Pa以下の所定の圧力まで真空引き可能なように構成されている。また、チャンバー2の側壁には、ゲートバルブ32が設けられており、このゲートバルブ32を開にした状態でウエハWが隣接するロードロック室（図示せず）との間で搬送されるようになっている。

30

【0033】

上部電極21には、第1の高周波電源40が接続されており、その給電線には整合器41が設けられている。また、上部電極21にはローパスフィルター（LPF）42が接続されている。この第1の高周波電源40は、50～150MHzの範囲の周波数を有しており、このように高い周波数を印加することにより、チャンバー2内に好ましい解離状態で、かつ高密度のプラズマを形成することができ、低圧条件下でのプラズマ処理が可能となる。この第1の高周波電源40の周波数は、50～80MHzが好ましく、典型的には図3中に示すように60MHzまたはその近傍の条件が採用される。

40

【0034】

下部電極としてのサセプタ5には、第2の高周波電源50が接続されており、その給電線には整合器51が設けられている。この第2の高周波電源50は、数百kHz～十数MHzの範囲の周波数を有しており、このような範囲の周波数の電力を印加することにより、ウエハWに対してダメージを与えることなく適切なイオン作用を与えることができる。第2の高周波電源50の周波数は、例えば図3に示すように13.56MHz、または800kHz等の条件が採用される。

【0035】

プラズマエッチング装置1の各構成部は、CPUを備えたプロセスコントローラ60に接続されて制御される構成となっている。プロセスコントローラ60には、工程管理者が

50

プラズマエッチング装置 1 を管理するためにコマンドの入力操作等を行うキーボードや、プラズマエッチング装置 1 の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等からなるユーザーインターフェース 6 1 が接続されている。

【 0 0 3 6 】

また、プロセスコントローラ 6 0 には、プラズマエッチング装置 1 で実行される各種処理をプロセスコントローラ 6 0 の制御にて実現するための制御プログラム（ソフトウェア）や処理条件データ等が記録されたレシピが格納された記憶部 6 2 が接続されている。

【 0 0 3 7 】

そして、必要に応じて、ユーザーインターフェース 6 1 からの指示等にて任意のレシピを記憶部 6 2 から呼び出してプロセスコントローラ 6 0 に実行させることで、プロセスコントローラ 6 0 の制御下で、プラズマ処理装置 1 での所望の処理が行われる。また、前記制御プログラムや処理条件データ等のレシピは、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体、例えば CD - ROM、ハードディスク、フレキシブルディスク、不揮発性メモリなどに格納された状態のものを利用したり、あるいは、他の装置から、例えば専用回線を介して随時伝送させてオンラインで利用したりすることも可能である。

【 0 0 3 8 】

次に、このように構成されるプラズマエッチング装置 1 によって、シリコン単結晶からなるウエハ W をエッチングし、図 2 に示すようなトレンチ 1 2 0 を形成する工程について説明する。

【 0 0 3 9 】

まず、シリコン酸化膜 1 0 2 およびシリコン窒化膜 1 0 3 が形成されたウエハ W を、ゲートバルブ 3 2 を開放して、図示しないロードロック室からチャンバー 2 内へ搬入し、静電チャック 1 1 上に載置する。そして、直流電源 1 3 から直流電圧を印加することによって、ウエハ W を静電チャック 1 1 上に静電吸着する。

【 0 0 4 0 】

次いで、ゲートバルブ 3 2 を閉じ、排気装置 3 5 によって、チャンバー 2 内を所定の真空度まで真空引きする。その後、バルブ 2 8 を開放し、処理ガス供給源 3 0 から第 1 のプラズマ処理の処理ガスとして、例えば CHF_3 をマスフローコントローラ 2 9 によって所定の流量、例えば $50 \sim 300 \text{ mL/min}$ 、好ましくは $150 \sim 250 \text{ mL/min}$ に調整しつつ、処理ガス供給管 2 7、ガス導入口 2 6、上部電極 2 1 の中空部へと導入し、電極板 2 4 の吐出孔 2 3 を通じて、図 3 に矢印で示すように、ウエハ W に対して均一に吐出させる。

【 0 0 4 1 】

この第 1 のプラズマ処理において、チャンバー 2 内の圧力は、所定の圧力、例えば $1.3 \sim 13.3 \text{ Pa}$ ($10 \sim 100 \text{ mTorr}$) 程度、好ましくは $3.3 \sim 10 \text{ Pa}$ ($25 \sim 75 \text{ mTorr}$) の圧力に維持し、第 1 の高周波電源 4 0 から上部電極 2 1 に $100 \sim 700 \text{ W}$ 、好ましくは $200 \sim 400 \text{ W}$ 、第 2 の高周波電源 5 0 から下部電極としてのサセプタ 5 に $100 \sim 700 \text{ W}$ 、好ましくは $200 \sim 400 \text{ W}$ 、の高周波電力をそれぞれ印加し、処理ガスをプラズマ化してウエハ W 上に形成されたパターンの溝部 1 1 0 に堆積物 D を堆積させる。処理時間は、特に限定されないが、好適には例えば $5 \sim 30$ 秒とすることができる。なお、他の条件として、チャンバー内の温度は、例えば、上部電極 2 1 が $60 \sim 90$ 、側壁が $50 \sim 70$ 、サセプタ 5 (ウエハ W) が $20 \sim 80$ とすることができる。

【 0 0 4 2 】

次に、第 2 のプラズマ処理では、シリコン基板 1 0 1 にトレンチ 1 2 0 を形成する。すなわち、バルブ 2 8 を開放し、処理ガス供給源 3 0 からエッチング用のガスとして、例えば、 C_1_2 および / または HBr を含むガスを、マスフローコントローラ 2 9 によって所定の流量比に調整しつつ、処理ガス供給管 2 7、ガス導入口 2 6、上部電極 2 1 の中空部へと導入し、電極板 2 4 の吐出孔 2 3 を通じて、図 3 に矢印で示すように、ウエハ W に対して均一に吐出させる。この第 2 のプラズマ処理における処理圧力、高周波パワー、処理

10

20

30

40

50

温度などの条件は、通常のシリコントレンチエッチングと同様の条件で行なうことができる。

【0043】

第2のプラズマ処理が終了した後は、通常のSTIの工程、すなわち、酸化膜の埋め込み、CMPによる平坦化を実施することにより、素子分離が行なわれる。

【0044】

次に、本発明の効果を確認するための実験結果について説明する。

まず、以下のようにしてテストサンプルの作製を行なった。

シリコン基板101上に、熱酸化処理により5.5nmの膜厚でSiO₂膜(シリコン酸化膜101)を形成し、その上にLPCVD法(減圧化学気相成長法)により60nmの膜厚でSi₃N₄膜(シリコン窒化膜)を形成した。その上に、60nmの膜厚で反射防止膜(BARC)を形成し、さらにその上層に166nmの膜厚でフォトレジスト層を形成した。フォトリソグラフィ技術により、フォトレジスト層をパターンニングし、さらに、フォトレジスト層をマスクとしてシリコン基板101が露出するまでSi₃N₄膜およびSiO₂膜をエッチングすることにより、開口部110を形成した。次いで、酸素ガスのプラズマによりフォトレジスト層と反射防止膜をアッシングした後、溝部110内のシリコン基板101の露出面に生じた自然酸化膜をHBrガスのプラズマ処理によって除去し、溝部110の底面にシリコン基板101が露出したテストサンプルとした。

10

【0045】

このテストサンプルに対して、図3のプラズマエッチング装置1を用い、以下の条件で、第1のプラズマ処理と第2のプラズマ処理を連続的に実施した。ここでは、第1のプラズマ処理の時間と、処理温度を変化させ、トレンチ120の肩部の丸み(曲率半径)とトレンチ壁の角度(テーパ角)への影響を調べた。その結果を表1に示した。

20

【0046】

<第1のプラズマ処理条件>

処理ガス：CHF₃、流量200mL/min(sccm)

チャンバー内圧力：6.7Pa(50mTorr)

高周波電力：上部電極300W、下部電極300W

電極間ギャップ：150mm

処理時間：5秒、7.5秒または10秒

30

バックプレッシャー：ウエハWのセンター部/エッジ部=1333/1333Pa(10/10Torr)

チャンバー内温度：上部電極80、側壁60、ウエハW40、50または60

【0047】

<第2のプラズマ処理条件>

処理ガスとして、Cl₂および/またはHBrを含むガスを用い、STIにおける通常のエッチング条件に準じて実施した。なお、チャンバー内温度は、第1のプラズマ処理と同様に、上部電極が80、側壁が60、ウエハWが40、50または60とした。

40

【0048】

【表 1】

| | 下部電極 温度 | 処 理 時 間 | | |
|-----------------------|------------|---------|-------|-------|
| | | 5秒 | 7.5秒 | 10秒 |
| トレンチ深さ (nm) | 60°C | 226 | — | 228 |
| | 50°C | — | 228 | — |
| | 40°C | 218 | 218 | 221 |
| 曲率半径 (nm) | 60°C | 11.0 | — | 16.8 |
| | 50°C | — | 17.1 | — |
| | 40°C | 16.2 | 18.1 | 20.1 |
| テーパ角度 (θ) | 60°C | 86.9° | — | 86.7° |
| | 50°C | — | 85.1° | — |
| | 40°C | 83.8° | 83.8° | 84.2° |

10

20

【0049】

表 1 から、シリコン基板 101 に形成されたトレンチ 120 の肩部 120 a の丸み（曲率半径）は、温度および処理時間への依存性が高く、主としてこれらの条件によってコントロールできることがわかる。また、トレンチ 120 のテーパ角度は、主に温度によってコントロールできることが示された。

【0050】

以上の結果から、トレンチ 120 の肩部 120 a の丸みを第 1 のプラズマ処理工程の処理時間により調節し、トレンチ 120 のテーパ角度は温度によって調節することが特に有利であることが理解される。第 1 のプラズマ処理において、温度によって丸み形状の大きさ（曲率半径）を制御しようとするれば、同一温度で第 2 のプラズマ処理を行なう場合にはテーパ角度の制御幅が自ずと限定されてしまい、異なる温度で第 2 のプラズマ処理を行なう場合には、第 2 のプラズマ処理までの間に下部電極 5 の温度調整をする必要が生じ、そのための時間が必要になる。これに対し、トレンチ 120 の肩部 120 a の丸みを第 1 のプラズマ処理工程の処理時間により調節し、トレンチ 120 のテーパ角度は温度によって調節するようになれば、一定温度でスループットを向上させながらテーパ角度調節の自由度を大きくすることができる。このように、本発明によれば、第 1 および第 2 のプラズマ処理において温度を一定に維持したまま肩部 120 a の丸みと、トレンチ 120 のテーパ角度を同時にコントロールすることが可能になる。

30

【0051】

以上、本発明の実施形態を述べたが、本発明は上記実施形態に制約されることはなく、種々の変形が可能である。

40

例えば、上記実施形態では上部電極 21 と下部電極としてのサセプタ 5 にそれぞれ高周波電力を印加する容量結合型の平行平板型プラズマエッチング装置を用いたが、例えば下部電極のみに高周波電力を印加するプラズマエッチング装置を使用してもよい。

また、上記実施形態では STI におけるトレンチ形成を例に挙げて説明したが、エッチングによって凹部の側壁の上端（肩部）に丸み形状を形成する目的であれば、STI に限定されることなく適用可能である。

【図面の簡単な説明】

【0052】

50

【図1】本発明の一実施形態の工程例を説明するためウエハ断面の構成を模式的に示す図面。

【図2】トレンチが形成されたウエハ断面の構成を模式的に示す図面。

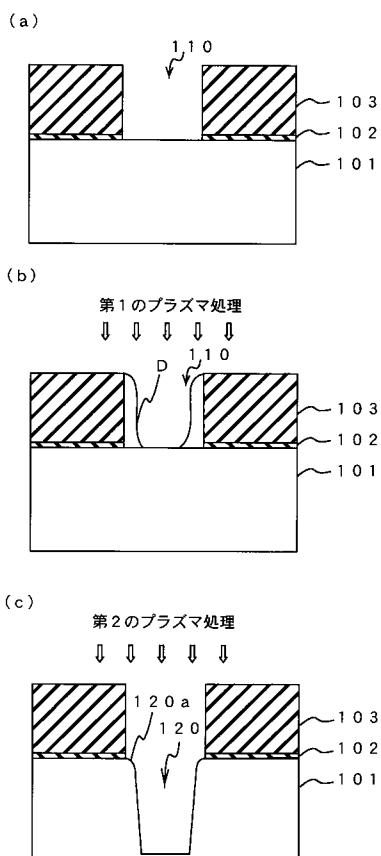
【図3】本発明の実施に用いるプラズマエッチング装置の概要を示す図面。

【符号の説明】

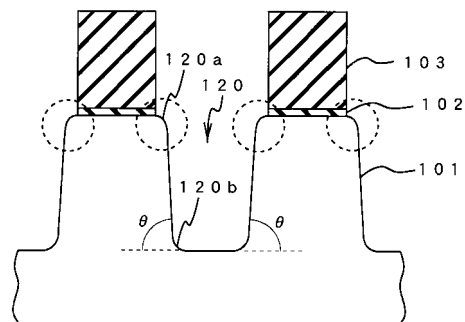
【0053】

- 1 ; プラズマエッチング装置
- 2 ; チャンバー
- 60 ; プロセスコントローラ
- 61 ; ユーザーインターフェース
- 62 ; 記憶部
- 101 ; シリコン基板
- 102 ; シリコン酸化膜
- 103 ; シリコン窒化膜
- 110 ; 溝部
- 120 ; トレンチ
- 120a ; 肩部
- 120b ; コーナー部

【図1】



【図2】



【 図 3 】

