

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4280686号
(P4280686)

(45) 発行日 平成21年6月17日(2009.6.17)

(24) 登録日 平成21年3月19日(2009.3.19)

(51) Int.Cl.

H01L 21/316 (2006.01)
H01L 21/31 (2006.01)

F 1

H01L 21/316
H01L 21/31A
A

請求項の数 11 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2004-194233 (P2004-194233)
 (22) 出願日 平成16年6月30日 (2004.6.30)
 (65) 公開番号 特開2006-19413 (P2006-19413A)
 (43) 公開日 平成18年1月19日 (2006.1.19)
 審査請求日 平成19年6月22日 (2007.6.22)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100086461
 弁理士 斎藤 和則
 (74) 代理人 100086287
 弁理士 伊東 哲也
 (72) 発明者 福地 祐介
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ャノン株式会社内
 審査官 田代 吉成

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマにより被処理基体表面に露出する被処理物を酸化し、酸化膜を形成する処理方法において、

プラズマ中のイオンを含む酸化種により前記被処理物を酸化処理し30乃至200の膜厚を有する酸化膜を形成する第一の工程と、

プラズマ中のイオンの前記酸化膜への到達量を制御し前記酸化膜を中性ラジカル種により処理する第二の工程と、を含み、

前記第一の工程では、プラズマ源に前記被処理基体を近接させて処理し、前記第二の工程では少なくとも前記第一の工程よりも前記プラズマ源から遠方に前記被処理基体を離間させて処理することを特徴とする処理方法。

【請求項 2】

前記第一の工程では、反応容器内圧力を150Pa以下で処理し、前記第二の工程では、前記反応容器内圧力を250Pa以上で処理することを特徴とする請求項1に記載の処理方法。

【請求項 3】

前記第一の工程では、前記被処理基体に近接した位置にプラズマ発生部を有するプラズマ源により処理し、前記第二の工程では前記プラズマ源からのプラズマ供給を停止し、リモートプラズマを供給する別のプラズマ源により処理することを特徴とする請求項1に記載の処理方法。

【請求項 4】

前記第二の工程では少なくとも前記第一の工程よりも低い電力でプラズマ励起することを特徴とする請求項1に記載の処理方法。

【請求項 5】

前記第一の工程では、前記被処理基体の設置された支持体にバイアス電圧を印加して処理し、前記第二の工程では前記バイアス電圧の印加を停止して処理することを特徴とする請求項1に記載の処理方法。

【請求項 6】

前記第一の工程では、プラズマ発生部に磁界発生手段による磁界を発生させて処理し、前記第二の工程では前記磁界の発生を停止して処理することを特徴とする請求項1に記載の処理方法。10

【請求項 7】

前記酸化処理では、O₂、O₃、H₂O、及びH₂O₂のうち少なくとも一種類以上からなる気体、またはそれらをHe、Ne、Ar、Kr、Xe、N₂、及びH₂のうち少なくとも一種類以上の気体で希釈あるいは該気体を添加した気体を処理ガスとして使用することを特徴とする請求項1に記載の処理方法。

【請求項 8】

前記第二の工程ではH₂により処理することを特徴とする請求項1に記載の処理方法。

【請求項 9】

前記被処理基体表面に露出する被処理物は、単結晶シリコン、多結晶シリコン、アモルファスシリコン、シリコンカーバイド、及びシリコンゲルマニウムのうちのいずれかであることを特徴とする請求項1に記載の処理方法。20

【請求項 10】

前記プラズマを生成するプラズマ源は表面波プラズマ源であることを特徴とする請求項1に記載の処理方法。

【請求項 11】

前記プラズマ源は表面波干渉プラズマ源であることを特徴とする請求項1に記載の処理方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

30

【0001】

本発明は、一般には、処理方法及び装置に係り、特に、プラズマ処理方法及び装置に関する。本発明は、例えば、半導体素子の絶縁膜形成のためのプラズマ処理に好適である。

【背景技術】**【0002】**

従来MOS(Metal Oxide Semiconductor)型半導体素子の絶縁膜として用いられてきた二酸化シリコン膜は、高いバンドギャップエネルギーと優れた界面特性をもち、高い信頼性を必要とする半導体素子特性を支えてきた。MOSトランジスタのゲート絶縁膜として用いられる二酸化シリコン膜の形成方法としては、シリコン基板を乾燥酸素又は水蒸気などの酸化雰囲気下で1000℃前後の高温に加熱して酸化させる熱酸化法が最も広く用いられていた。40

【0003】

しかしながら超LSIの高集積化が進み、絶縁膜の薄膜化が進むにつれて、従来の熱酸化法で形成された酸化膜では絶縁耐圧の低下や、直接トンネル電流によるリーク電流が著しく増加する為、絶縁膜としての性能を維持することが困難となってきた。また、基板に対して熱負荷の高い熱酸化法では、基板中にすでに形成された不純物の再拡散を引き起こすといった問題もある。

【0004】

そこで、シリコン基板の酸化時に形成される膜中の格子欠陥が一般に乾燥熱酸化膜よりも少なく、また、低温でも酸化が進むイオンや中性ラジカルを含む活性種を酸化反応に用50

いる方法が注目されている。

【0005】

活性種の生成方法としては、酸素雰囲気に特定の波長を有するUV光を照射することで生成する方法や、高周波電界を印加することで酸化性ガスをプラズマ化することで解離し生成する方法などがある。

【0006】

しかしながら、UV光により生成される活性種は、大量に生成するのが困難なため、酸化速度が遅くスループットが低いという欠点があった。これに対しプラズマを用いた酸化では、比較的容易に大量の活性種を発生させることができるのであり、高速な酸化速度を得ることができる。しかしながら、プラズマを用いた場合、活性種として中性ラジカル種以外にイオンも同時に生成される。イオンは基板上に形成されるシース電位により高速に加速され基板に入射する。このため基板中の原子結合に対しダメージを与え、ダングリングボンドといった固定電荷の原因となる欠陥を作ることが問題となっていた。また、基板表面上に到達するイオン成分が比較的少ないリモートプラズマなどを用いたダウンフロー酸化の場合、UV光酸化同様に、基板に到達する中性ラジカル種も減少するため、酸化速度が遅くなり生産性が低いという問題を抱えていた。

【特許文献1】特開2000-332245

【特許文献2】特開2001-156059

【特許文献3】特開平6-29254

【特許文献4】特開平9-106977

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述の如く、従来の活性種を用いた酸化法では、イオン照射の影響を防ぎつつ基板表面に到達する中性ラジカル密度を維持するのが難しく、このためスループットの低下を招き、熱酸化法に代わる酸化手段とはなりえなかった。

【0008】

そこで、本発明は上記実情を考慮してなされたものであり、プラズマ酸化法において、高いスループットで膜中のダメージが少なく、高い信頼性を有する絶縁膜を形成する処理方法及び装置を提供することを例示的な目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的を達成するための本発明の処理方法は、プラズマにより被処理基体表面に露出する被処理物を酸化し、酸化膜を形成する処理方法において、プラズマ中のイオンを含む酸化種により前記被処理物を酸化処理し30乃至200の膜厚を有する酸化膜を形成する第一の工程と、プラズマ中のイオンの前記酸化膜への到達量を制御し前記酸化膜を中性ラジカル種により処理する第二の工程と、を含み、前記第一の工程では、プラズマ源に前記被処理基体を近接させて処理し、前記第二の工程では少なくとも前記第一の工程よりも前記プラズマ源から遠方に前記被処理基体を離間させて処理することを特徴とする。

【0021】

本発明の更なる目的又はその他の特徴は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施例によって明らかにされるであろう。

【発明の効果】

【0022】

本発明は、酸化の第一のステップにおいてイオンを含む酸化を行うことで極めて高速な酸化処理を行うこととともに、酸化の第二のステップとしてプラズマ中のイオンが被処理基体に到達する量を制御し中性ラジカル種による酸化を行うことで第一のステップの酸化中にイオン衝撃により生じた酸化膜中の結合欠陥などを修復することができる。また、第二のステップのプロセスガスに、より終端性の高いH₂を用いることで、更なる酸化膜の修復性を得ることが可能となる。

10

20

30

40

50

【0023】

よって本発明によれば、高い信頼性を有する絶縁膜を高速に形成することが可能な処理方法及び装置を提供することができる。より具体的には、高い絶縁耐性、低リーク電流特性を有する高品質の絶縁膜を提供することができる。本発明により形成されるシリコン酸化膜はMOSトランジスタのゲート絶縁膜、或いはフラッシュメモリに用いられるフローティングゲート絶縁膜、或いはコントロールゲート絶縁膜として好適である。

【発明を実施するための最良の形態】**【0024】****(実施形態1)**

以下、本発明の実施形態1としてのプラズマ処理装置（以下、単に、「処理装置」という。）100について添付図面の図1乃至図4を参照して詳細に説明する。ここで、図1は、処理装置100の概略断面図である。処理装置100は、図示しないマイクロ波発生源又は高周波源に接続され、図1に示すように、真空容器（又はプラズマ処理室）101、被処理基体102、支持体（又は載置台）103、温調部104、ガス導入部105、圧力調節機構106、誘電体窓又は高周波透過手段107、及びマイクロ波供給手段又は高周波電力供給手段108を有し、被処理基体102に対してプラズマ処理を施す。10

【0025】

マイクロ波発生源は、例えば、マグネットロンからなり、例えば、2.45GHzのマイクロ波（μ波）を発生する。但し、本発明は、0.8GHz乃至20GHzの範囲からマイクロ波周波数を選択することができる。マイクロ波は、その後、図示しないモード変換器によりTM、TEモードなどに変換されて導波管を伝搬する。マイクロ波109の導波経路には、アイソレーターやインピーダンス整合器などが設けられる。アイソレーターは、反射されたマイクロ波がマイクロ波発生源に戻ることを防止し、そのような反射波を吸収する。インピーダンス整合器は、マイクロ波発生源から負荷に供給される進行波と負荷により反射されてマイクロ波発生源に戻ろうとする反射波のそれぞれの強度と位相を検知するパワーメータを有し、マイクロ波発生源と負荷側とのマッチングをとる機能を果たすものであって、4Eチューナ、EHチューナやスタブチューナ等から構成される。20

【0026】

プラズマ処理室101は、被処理基体102を収納して真空又は減圧環境下で被処理基体102にプラズマ処理を施す真空容器である。なお、図1においては、被処理基体102を図示しないロードロック室との間で受け渡すためのゲートバルブなどは省略されている。30

【0027】

被処理基体102は、支持体103に載置される。支持体103は、プラズマ処理室101に収納され、被処理基体102を支持する。

【0028】

温調部104は、ヒータなどから構成され、例えば、600以下であって、例えば、200以上400以下の処理に適した温度に制御される。温調部104は、例えば、支持体103の温度を測定する温度計と、該温度計により測定した温度が所定の温度になるように、例えば、温調部としてのヒータ線への図示しない電源からの通電を制御する制御部とを有する。40

【0029】

ガス導入部105は、プラズマ処理室101の上部に設けられ、プラズマ処理用のガスをプラズマ処理室101に供給する。ガス導入部105は、ガス供給手段の一部であり、ガス供給手段は、ガス供給源と、バルブと、マスフローコントローラと、これらを接続するガス導入管を含み、マイクロ波109により励起されて所定のプラズマPを得るために処理ガスや放電ガスを供給する。プラズマの迅速な着火のために少なくとも着火時にXeやAr、またはHeなどの希ガスを添加してもよい。希ガスは、反応性がないので被処理基体102に悪影響せず、また、電離しやすいので、マイクロ波投入時のプラズマ着火速度を上昇させることができる。さらに、ガス導入部105は、例えば、処理ガスを導入す50

る導入部と不活性ガスを導入する導入部とに分けて、これらの導入部を別々の位置に配置してもよい。

【0030】

被処理基体102を酸化表面処理する酸化性ガスとしては、O₂、O₃、H₂O、H₂O₂、NO、N₂O、またはNO₂などが挙げられる。上述したように、かかる処理ガスは、He、Ne、Ar、Kr、Xe、N₂、及びH₂のうち少なくとも一種類以上の気体で希釈或いは該気体を添加した混合気体から構成されてもよい。

【0031】

圧力調節機構106は、プラズマ処理室101の下部又は底部に設けられ、圧力調整弁106a、図示しない圧力計、真空ポンプ106b及び図示しない制御部とを含んで構成される。図示しない制御部は、真空ポンプ106bを運転しながら、プラズマ処理室101の圧力を検出する圧力計が所定の値になるように、プラズマ処理室101の圧力を弁の開き具合で調整する圧力調整弁106a（例えば、VAT製の圧力調整機能付きゲートバルブやMKS製排気スロットバルブ）を制御することによって調節する。この結果、圧力調節機構106を介して、プラズマ処理室101は内部圧力が処理に適した圧力に制御される。

【0032】

イオン性の酸化反応を行う圧力は、好ましくは、13mPa乃至150Paの範囲、より好ましくは、665mPaから133.3Paまでの範囲が適当である。真空ポンプ106bは、例えば、ターボ分子ポンプ（TMP）により構成され、図示しないコンダクタンスバルブなどの圧力調整バルブを介してプラズマ処理室101に接続されている。

【0033】

誘電体窓107は、マイクロ波発生源から供給されるマイクロ波109をプラズマ処理室101に透過すると共にプラズマ処理室101の隔壁として機能する。

【0034】

スロット付平板状マイクロ波供給手段108は、マイクロ波109を誘電体窓107を介してプラズマ処理室101に導入する機能を有し、スロット付無終端環状導波管でも、同軸導入平板マルチスロットアンテナでも、マイクロ波109を平板状に供給できるものであれば適用可能である。本発明のマイクロ波プラズマ処理装置100に用いられる平板状マイクロ波供給手段108の材質は、導電体であれば使用可能であるが、マイクロ波109の伝搬ロスをできるだけ抑えるため、導電率の高いAl、Cu、Ag/CuメッキしたSUSなどが最適である。

【0035】

例えば、スロット付平板状マイクロ波供給手段108がスロット付無終端環状導波管である場合、冷却水路とスロットアンテナが設けられている。スロットアンテナは誘電体窓107の表面の真空側に干渉による表面定在波を形成する。スロットアンテナは、例えば、半径方向のスロット、円周方向に沿ったスロット、略T字形状の同心円状又は螺旋状に配置された多数のスロット、又は、Vの字形状の一対のスロットを4対有する金属製の円板である。なお、被処理基体102面内において、ばらつきのない均一な処理を全面に渡って行うためには、被処理基体102上において面内均一性の良好な活性種が供給されることが重要である。スロットアンテナは少なくとも一本以上のスロットを配置することで、大面積に渡ってプラズマを生成させることが可能となり、プラズマ強度・均一性の制御も容易になる。

【0036】

以下、処理装置100による酸化膜（絶縁膜）の形成動作について説明する。まず、公知のRCA及び、希フッ酸洗浄法により表面を清浄化し洗浄の終了した被処理基体102が支持体103に載置される。次に、圧力調節機構106を介してプラズマ処理室101内を真空排気する。続いて、図示しないガス供給手段のバルブが開口され、マスフローコントローラを介して処理ガスが所定の流量でガス導入部105からプラズマ処理室101に導入される。次に、圧力調整弁106aを調整してプラズマ処理室101内を所定の圧

10

20

30

40

50

力に保持する。また、マイクロ波発生源よりマイクロ波 109 を、マイクロ波供給手段 108 、及び誘電体窓 107 を介してプラズマ処理室 101 に供給し、プラズマ処理室 101 内でプラズマを発生させる。マイクロ波供給手段 108 内に導入されたマイクロ波は、自由空間よりも長い管内波長をもって伝搬し、スロットから誘電体窓 107 を介してプラズマ処理室 101 に導入され、誘電体窓 107 の表面を表面波として伝搬する。この表面波は、隣接するスロット間で干渉し、表面定在波を形成する。この表面定在波の電界により高密度プラズマを生成する。プラズマ生成域の電子密度が高いので処理ガスを効率良く解離できる。プラズマ中のイオンや中性ラジカル等の活性種は、被処理基体 102 近辺に拡散等で輸送され、被処理基体 102 の表面に到達する。

【0037】

10

本実施形態ではイオン性の酸化処理後に反応容器内の圧力を変えて中性ラジカル処理を行い、同一の処理室 101 においてイオン性の酸化処理と中性ラジカル処理の両方を行う。かかる様子を図 2 乃至 4 を参照して説明する。ここで、図 2 は表面波干渉プラズマ源により生成されたプラズマ中に存在するイオン密度の圧力依存の例であり、図 3 は、被処理基体近傍のイオン密度と酸化膜厚の関係を示した例であり、図 4 は、絶縁膜の形成を説明するための概略断面図である。

【0038】

表面波プラズマでは、マイクロ波導入部である誘電体窓の極近傍にプラズマを生成し、ここから拡散により被処理基体へプラズマを輸送し、被処理基体を処理している。プラズマ中のイオンは、図 2 に示すように、ガス圧力を 250 Pa 以上にするとプラズマ発生部から離れるに従い電子との再結合消滅や拡散長の低下により急速に減少する。一方、ガス圧力を 150 Pa 以下にするとイオンの減少は緩やかであるため被処理基体を誘電体窓から数十 mm 程度離しても被処理基体には多量のイオンが入射することとなる。

20

【0039】

一方、被処理基体近傍のイオン密度と酸化膜厚とは図 3 に示すようにイオン密度が高いほど同一時間処理で形成される酸化膜厚が厚くなる傾向を示す。このため被処理基体を高速に酸化する場合、被処理基体に入射するイオン密度が高い条件で酸化するほど所望の膜厚を短時間に形成することができる。

【0040】

30

次に図 4 に示すプラズマによって形成された絶縁膜の欠陥の修復について説明する。ここでより具体的には、図 4 (a) は、洗浄終了後の被処理基体 102 の概略断面図である。図 4 (b) は、イオン性酸化処理後の被処理基体 102 の概略断面図である。図 4 (c) は、中性ラジカル処理後の被処理基体 102 の概略断面図である。

【0041】

まず処理室 101 内を 150 Pa 以下、より好ましくは 100 Pa 以下の所定の圧力に制御する。続いて、マイクロ波供給手段 108 より誘電体窓 107 を介してマイクロ波 109 を投入し、プラズマ P を生成する。プラズマ中のイオン密度はプラズマ発生部から離れるに従い減少するが、前述のように 150 Pa 以下の圧力においてはプラズマ源で発生したイオンはその密度を比較的保ったまま被処理基体 102 の表面まで輸送される。ここで発生したイオン性の酸素プラズマ 110 を被処理基体 102 に暴露することによって、図 4 (b) に示すように、被処理基体 102 上にシリコン酸化膜 111 を高速に形成する。このときシリコン酸化膜 111 には、イオンの衝撃によって、界面準位を発生させる欠陥 114 や、空間固定電荷 115 といった電気特性を著しく劣化させる恐れのある欠陥が多く存在する。

40

【0042】

次に処理室 101 内を 250 Pa 以上、より好ましくは 350 Pa 以上の所定の圧力に制御する。続いて、マイクロ波供給手段 108 より誘電体窓 107 を介してマイクロ波 109 を投入し、プラズマ P を生成する。前述のように 250 Pa 以上の圧力においてはプラズマ源で発生したイオンはその密度を急速に失い被処理基体 102 表面にはほとんど輸送されず、イオンに比べ長寿命な中性ラジカルのみが到達可能となる。ここで発生した中

50

性ラジカル 112 を被処理基体 102 に暴露することによってシリコン酸化膜 111 に存在していた欠陥を終端、修復し、図 4 (c) に示すように、被処理基体 102 上にシリコン酸化膜を低欠陥密度のシリコン酸化膜 113 に改質する。

【0043】

以上のように本実施形態において、被処理基体 102 上に形成されたシリコン酸化膜 111 は高速なイオン衝撃により、シリコン原子と酸素原子との結合が切られ、ダングリングボンドとして存在し電気特性を著しく劣化させてしまう。しかしながらイオン性酸化処理工程後に行われる中性ラジカル処理工程において、基板へのダメージが少なく反応性の高い中性酸素ラジカルがシリコン界面を原子レベルで平坦化すると共に膜中に存在するダングリングボンドを終端することで、界面準位や固定電荷の少ない高品質な絶縁膜を得ることが可能となる。10

【0044】

上記の実施形態では、イオン性の酸化処理を行うプロセスガスと、続いて中性ラジカル処理を行うプロセスガスとを同一としたが、これらは別であってもよい。その場合イオン性の酸化処理終了後、プロセスガスの導入を停止し、プラズマ処理室を排気手段により十分に排気してから次の酸化処理の反応ガスを導入し、所望の圧力に調整した後に中性ラジカル処理を開始することが好ましい。

(実施形態 2)

以下、本発明の実施形態 2 としての処理装置 200 について添付図面を参照して詳細に説明する。ここで、図 5 は、処理装置 200 の概略断面図であり、表面波干渉型プラズマ源を有する。なお、マイクロ波 109 の供給手段、ガス供給手段、圧力調整手段等の構成は実施形態 1 と同様である。20

【0045】

被処理基体 102 は、プラズマ源に対し遠近移動可能な支持体 201 上に載置される。支持体 201 は、例えばプラズマ発生部との間隔を 20 mm 以上 200 mm 以下の処理に適した間隔に制御される。

【0046】

プラズマ中に存在するイオン密度は図 2 に示したように、特定の圧力条件下ではプラズマ発生部から遠ざかるに従い急激に減少する。このためプラズマ発生部と被処理基体との間隔を支持体 201 により変化させることで、被処理基体上に入射するイオンのフラックスを制御することが可能となり、イオン性の酸化処理と中性ラジカル処理という異なる 2 つの処理を任意に行うことが可能となる。30

【0047】

以下、処理装置 200 による酸化膜の形成動作を説明する。まず公知の R C A 及び、希フッ酸洗浄法により表面を清浄化し洗浄の終了した被処理基体 102 が可変支持体 201 に載置され、プラズマ処理中にイオンが被処理基体表面に十分到達可能な所定の位置に支持体 201 の位置を調整する。次に、圧力調節機構 106 を介してプラズマ処理室 101 内を真空排気する。続いて、図示しないガス供給手段のバルブが開口され、マスフローコントローラを介して処理ガスが所定の流量でガス導入部 105 からプラズマ処理室 101 に導入される。次に、圧力調整弁 106a を調整してプラズマ処理室 101 内を所定の圧力に保持する。また、マイクロ波発生源よりマイクロ波 109 を、マイクロ波供給手段 108、及び誘電体窓 107 を介してプラズマ処理室 101 に供給し、プラズマ処理室 101 内でプラズマ P を発生させる。マイクロ波供給手段 108 内に導入されたマイクロ波は、自由空間よりも長い管内波長をもって伝搬し、スロットから誘電体窓 107 を介してプラズマ処理室 101 に導入され、誘電体窓 107 の表面を表面波として伝搬する。この表面波は、隣接するスロット間で干渉し、表面定在波を形成する。この表面定在波の電界により高密度プラズマ P を生成する。プラズマ中イオン及び中性ラジカル等の活性種は、被処理基体 102 近辺に拡散で輸送され、被処理基体 102 の表面に到達し、被処理基体 102 の表面は、イオンによって高速に酸化されシリコン酸化膜 111 を形成する。40

【0048】

10

20

30

40

50

次に支持体 201 は前記設置位置よりもプラズマ源より遠方に移動し、プラズマ中のイオンがほとんど到達しなくなるように制御する。被処理基体 102 にはイオンよりも長寿命な中性ラジカルのみが到達可能となり、イオン性の酸化処理によってシリコン酸化膜 111 に生じた欠陥を修復し、欠陥密度の低いシリコン酸化膜 113 に改質する。

【0049】

本実施形態において、被処理基体 102 上に形成されたシリコン酸化膜 113 は、前記実施形態 1 と同様に、極めて膜中に欠陥密度の少ない高品質のシリコン酸化膜である。

上記実施形態で支持体 201 の位置調整によりイオン性の酸化処理と、中性ラジカル処理とを行う際に、真空容器内の圧力を一定とした場合は、好ましくは、100 mPa 乃至 700 Pa の範囲、より好ましくは、10 Pa から 150 Pa の範囲が適当である。

10

【0050】

上記の実施形態では、イオン性の酸化処理を行うプロセスガスと、続いて中性ラジカル処理を行うプロセスガスとを同一としたが、これらは別であってもよい。その場合、イオン性の酸化処理終了後、プロセスガスの導入を停止し、プラズマ処理室を排気手段により十分に排気してから次の酸化処理の反応ガスを導入し、所望の圧力に調整した後に中性ラジカル処理を開始することが好ましい。

(実施形態 3)

以下、本発明の実施形態 3 としての処理装置 300 について添付図面を参照して詳細に説明する。ここで、図 6 は、処理装置 300 の概略断面図である。

【0051】

20

処理装置 300 は、同図に示すように、高密度プラズマ源 301、リモートプラズマ源 302、真空容器（又はプラズマ処理室）101、被処理基体 102、支持体（又は載置台）103、温調部 104、及び圧力調節機構 106 を有し、被処理基体 102 に対してプラズマ処理を施す。

【0052】

処理装置 300 はイオン性の酸化処理を行うためのプラズマ源 301 と中性ラジカル処理を行うための中性ラジカルのみを処理容器 101 に供給するリモートプラズマ源 302 の 2 つを有しており、それぞれ独立にプラズマ生成が可能である。

【0053】

30

以下、処理装置 300 による酸化膜の形成動作を説明する。まず公知の R C A 及び、希フッ酸洗浄法により表面を清浄化し洗浄の終了した被処理基体 102 が支持体 103 に載置される。次に、圧力調節機構 106 を介してプラズマ処理室 101 内を真空排気する。続いて、イオン性の酸化種を生成するためのプラズマ源 301 によりプラズマを生成し、被処理基体 102 に暴露することによってシリコン酸化膜 111 を高速に形成する。所望の膜厚のシリコン酸化膜 111 を形成後、プラズマ源 301 によるプラズマ供給を停止する。続いて、中性ラジカル処理を行うためのプラズマ源 302 によりプラズマを生成し、中性ラジカルのみを被処理基体 102 に暴露することによって、前記イオン性の酸化処理時にシリコン酸化膜 111 中に生じた欠陥を修復し、欠陥密度の低いシリコン酸化膜 113 に改質する。

【0054】

40

上記の実施形態において、イオン性の酸化処理を行うためのプラズマ源 301、及び中性ラジカル処理を行うためのプラズマ源 302 は C C P、I C P、ヘリコン、E C R、マイクロ波、表面波等のいかなるプラズマ励起手段についても適用可能であり、それぞれ同一のプラズマ源であっても、別のプラズマ源であってもよい。

【0055】

上記の実施形態では、イオン性の酸化処理を行う場合に中性ラジカル処理のためのプラズマ源からのプラズマ供給を行っていないが、無論 2 つのプラズマ源において同時にプラズマ生成を行ってもよい。

(実施形態 4)

以下、本発明の実施形態 4 について説明する。本実施形態に係る処理装置は、プラズマ

50

生成時の高周波電力を変化させることでプラズマ中のイオン密度を制御し、被処理基体102に到達するイオンのフラックスを制御するものである。処理装置は前記の実施形態に示したようないかなる処理装置についても適用可能である。

【0056】

以下、処理装置100を例にして酸化膜の形成動作を説明する。まず公知のRCA及び希フッ酸洗浄法により表面を清浄化し洗浄の終了した被処理基体102が支持体103に載置される。次に、圧力調節機構106を介してプラズマ処理室101内を真空排気する。続いて、図示しないガス供給手段のバルブが開口され、マスフローコントローラを介して処理ガスが所定の流量でガス導入部105からプラズマ処理室101に導入される。次に、圧力調整弁106aを調整してプラズマ処理室101内を所定の圧力に保持する。さらに図示しないマイクロ波発生源又は高周波源に高密度のイオンを生成可能な所定の電力、例えば1.5乃至3kW、を投入しマイクロ波を発生させ、マイクロ波供給手段108、及び誘電体窓107を介してプラズマ処理室101に供給し、プラズマ処理室101内で高密度プラズマPを発生させる。10

【0057】

前記高密度プラズマを被処理基体102表面に暴露することによってシリコン酸化膜111を高速に形成する。所望の膜厚のシリコン酸化膜111を形成後、高密度プラズマ生成時よりも低い電力、例えば0.5乃至1kWをマイクロ波発生源又は高周波源に投入して、前記プラズマよりも低い密度のプラズマを発生させる。前記低密度プラズマを被処理基体102の表面に暴露することにより、イオン性の低い中性ラジカル処理が可能となり、シリコン酸化膜111を欠陥密度の低いシリコン酸化膜113へと改質する。20

【0058】

上記の実施形態では、イオン性の酸化反応と中性ラジカルによる改質処理とをプラズマ生成時の高周波電力の増減により制御しているが、必要であれば処理圧力や基板位置を制御して、被処理基体に対するイオン入射量を制御しても良い。

(実施形態5)

以下、本発明の実施形態5としての処理装置500について添付図面を参照して詳細に説明する。ここで、図7は、処理装置500の概略断面図であり、処理装置500は表面波干渉型プラズマ源を有する。なお、マイクロ波の供給手段、ガス供給手段、圧力調整手段等の構成は実施形態1と同様である。30

【0059】

被処理基体102は、バイアス電圧印加手段502により任意にバイアス電位を被処理基体102に印加することが可能な支持体501上に載置される。

【0060】

以下、処理装置500による酸化膜の形成動作を説明する。まず公知のRCA及び、希フッ酸洗浄法により表面を清浄化し洗浄の終了した被処理基体102が支持体501に載置される。次に、圧力調節機構106を介してプラズマ処理室101内を真空排気する。続いて、図示しないガス供給手段のバルブが開口され、マスフローコントローラを介して処理ガスが所定の流量でガス導入部105からプラズマ処理室101に導入される。次に、圧力調整弁106aを調整してプラズマ処理室101内を所定の圧力に保持する。また、所定のバイアス電位を支持体501に与えた後、マイクロ波発生源よりのマイクロ波109を、マイクロ波供給手段108、及び誘電体窓107を介してプラズマ処理室101に供給し、プラズマ処理室101内でプラズマPを発生させる。前記プラズマを被処理基体102に暴露することによってシリコン酸化膜111を形成する。被処理基体102に印加されたバイアス電位は、被処理基体102に入射するイオンにエネルギーを与えて加速するとともに、膜中の電位勾配により酸化速度を増加させる働きを有する。所望の膜厚のシリコン酸化膜111を形成後、支持体104に印加したバイアス電圧を切り、高エネルギーのイオン入射を停止させ、続いてプラズマ中の中性ラジカルを被処理基体102に暴露することによって、前記イオン性の酸化処理時にシリコン酸化膜111中に生じた欠陥を修復し、欠陥密度の低いシリコン酸化膜113に改質する。40

【0061】

上記の実施形態では、イオン性の酸化反応と中性ラジカルによる改質処理とをバイアス電圧のオン、オフにより制御しているが、必要であれば処理圧力や基板の位置を制御して、被処理基体102に対するイオン入射量を制御しても良い。

(実施形態6)

以下、本発明の実施形態6としての処理装置600について添付図面を参照して詳細に説明する。ここで、図8は、処理装置600の概略断面図であり、処理装置600は表面波干渉型プラズマ源を有する。

【0062】

なお、マイクロ波の供給手段、ガス供給手段、圧力調整手段等の構成は実施形態1と同様である。601は磁界発生手段であり、スロットの幅方向に発生する電界に垂直な磁界であればいかなる形状のものについても適用可能である。10

【0063】

以下、処理装置600による酸化膜の形成動作を説明する。まず公知のRCA及び、希フッ酸洗浄法により表面を清浄化し洗浄の終了した被処理基体102が支持体103に載置される。次に、圧力調節機構106を介してプラズマ処理室101内を真空排気する。続いて、図示しないガス供給手段のバルブが開口され、マスフローコントローラを介して処理ガスが所定の流量でガス導入部105からプラズマ処理室101に導入される。次に、圧力調整弁106aを調整して、プラズマ処理室101内を所定の圧力に保持する。また、所定の磁界を電磁石などの磁界発生手段601により形成した後、マイクロ波発生源よりマイクロ波を、マイクロ波供給手段108、及び誘電体窓107を介してプラズマ処理室101に供給し、プラズマ処理室101内でプラズマPを発生させる。プラズマP中の電子は、マイクロ波電界により加速されるとともに、重畠された磁界によりトラップされ、プラズマの解離を促し、所謂マグネットロンプラズマと呼ばれる高密度のプラズマを形成する。前記プラズマを被処理基体102に暴露することによってシリコン酸化膜111を高速に形成する。所望の膜厚のシリコン酸化膜111を形成後、重畠した磁界の発生を停止して、前記プラズマよりも低い密度のプラズマを被処理基体102に暴露することによって、前記イオン性の酸化処理時にシリコン酸化膜111中に生じた欠陥を修復し、欠陥密度の低いシリコン酸化膜113に改質する。20

【0064】

上記の実施形態では、イオン性の酸化反応と中性ラジカルによる改質処理とを磁界発生手段による磁界の有無により制御しているが、必要であれば処理圧力や基板の位置を制御して、被処理基体に対するイオン入射量を制御しても良い。30

(実施形態7)

以下、本発明の実施形態7を詳細に説明する。本実施形態におけるプラズマ処理装置は実施形態1と同様の装置を用いる。

【0065】

以下、酸化膜の形成動作を説明する。まず公知のRCA及び、希フッ酸洗浄法により表面を清浄化し洗浄の終了した被処理基体102が支持体103に載置される。次に、圧力調節機構106を介してプラズマ処理室101内を真空排気する。続いて、図示しないガス供給手段のバルブが開口され、マスフローコントローラを介して処理ガスが所定の流量でガス導入部105からプラズマ処理室101に導入される。ここで処理ガスとしては例えばO₂、O₃、H₂O、H₂O₂のうち少なくとも一種類以上からなる気体、またはそれらをHe、Ne、Ar、Kr、Xe、N₂、H₂のうち少なくとも一種類以上の気体で希釈あるいは該気体を添加した気体を処理ガスとして使用可能である。次に、圧力調整弁106aを調整してプラズマ処理室101内を所定の圧力に保持する。続いて、マイクロ波発生源よりマイクロ波を、マイクロ波供給手段108、及び誘電体窓107を介してプラズマ処理室101に供給し、プラズマ処理室101内でプラズマPを発生させる。前記プラズマを被処理基体102に暴露することによってシリコン酸化膜111を形成する。所望の膜厚のシリコン酸化膜111を形成後、プラズマ放電及びガス供給を停止させ、排4050

気手段 106 によりプラズマ処理室 101 内を真空排氣する。続いて、図示しないガス供給手段のバルブが開口され、マスフローコントローラを介して処理ガスが所定の流量でガス導入部 105 からプラズマ処理室 101 に導入される。ここで処理ガスとして H₂ を用いる。続いて、マイクロ波発生源よりマイクロ波 109 を、マイクロ波供給手段 108、及び誘電体窓 107 を介してプラズマ処理室 101 に供給し、プラズマ処理室 101 内でプラズマ P を発生させる。

【0066】

前記プラズマ処理において発生するイオンは、軽元素の H であるため膜に与えるダメージが少なく、反応性の高い H ラジカルが膜中の欠陥を終端し修復する働きをもつ。前記プラズマを被処理基体 102 に暴露することによってシリコン酸化膜 111 を、欠陥密度の 10 低いシリコン酸化膜 113 に改質する。

【0067】

上記の実施形態において、プラズマ源として表面波干渉プラズマを用いているが、 C C P、 I C P、ヘリコン、 E C R、マイクロ波、表面波等のいかなるプラズマ励起手段についても適用可能であり、それぞれ同一のプラズマ源であっても、別のプラズマ源であってもよい。

【0068】

以上のようにして形成された酸化膜は、 M I S F E T (M e t a l I n s u l a t o r S e m i c o n d u c t o r F i e l d E f f e c t T r a n s i s t o r) のゲート絶縁膜、或いはフラッシュメモリ素子のフローティングゲート酸化膜或いはコントロールゲート酸化膜として用いるのに好適である。

【0069】

以下、プラズマ処理装置及び処理方法の具体的な適用例を説明するが、本発明はこれらの例に限定されるものではない。

【実施例 1】

【0070】

処理装置 100 の一例として、図 9 に示すマイクロ波プラズマ処理装置 100A を使用し、半導体素子のゲート絶縁膜の形成を行った。処理装置 100A はマイクロ波による表面波干渉プラズマを励起可能である。108A は、マイクロ波を誘電体窓 107 を介してプラズマ処理室 101A に導入するためのスロット付無終端環状導波管である。なお、図 9 において、図 1 と同一部材は同一の参照符号を有し、対応する部材の変形例又は具体例には同一の参照符号にアルファベットを付している。

【0071】

スロット付無終端環状導波管 108A は、 T E 10 モードで、内壁断面の寸法が 27 mm × 96 mm (管内波長 158.8 mm) 、導波管の中心径が 151.6 mm (一周長は管内波長の 3 倍) のものを用いた。スロット付無終端環状導波管 108A の材質は、マイクロ波の伝搬損失を抑えるため、すべてアルミニウム合金を用いている。スロット付無終端環状導波管 108A の H 面には、マイクロ波をプラズマ処理室 101A へ導入するためのスロットが形成されている。スロットは、長さ 40 mm , 幅 4 mm の矩形で、中心直径が 151.6 mm の位置に、放射状に 60° 間隔で 6 本形成されている。スロット付無終端環状導波管 108A には、 4E チューナ、方向性結合器、アイソレーター、 2.45 GHz の周波数を持つマイクロ波電源 (不図示) が順に接続されている。

【0072】

被処理基体 102 としては 8 インチ P 型単結晶シリコン (面方位 100 、抵抗率 10 cm) を使用した。まず、被処理基体 102 をプラズマ処理室 101 へ搬送し、支持体 103 上に設置した。このとき被処理基体 102 を温調部 104 のヒータにより 300 °C に加熱及び保持した。

【0073】

次に、処理室 101 内に O₂ ガス及び He ガスをそれぞれ 50 sccm 、 450 sccm の流量で導入し、圧力調整機構 106 に設けられた圧力調整弁 106a の開度を調整し

10

20

30

40

50

、処理室101内の圧力を66.6Paに保持した。その後、2.45GHz、1.5kWのマイクロ波電力をマイクロ波供給手段108A及び誘電体窓107を介して処理室101内に投入し、プラズマPを発生させた。このとき発生した酸素プラズマを被処理基体102に3分間暴露し、シリコン酸化膜の形成を行った。このとき形成されたシリコン酸化膜の膜厚をエリプソメーターで測定した結果8.1nmの膜厚であることが分かった。

【0074】

次に、処理室101内を真空ポンプで 10^{-3} Paまで十分に真空引きを行った後、O₂ガスを500sccmの流量で導入し、圧力調整弁106aの開度を調整し、処理室101内の圧力を400Paに保持した。その後2.45GHz、1.5kWのマイクロ波電力をマイクロ波供給手段108及び誘電体窓107を介して処理室101内に投入しプラズマPを発生させた。このとき発生した酸素プラズマをシリコン酸化膜上に1分間暴露し、中性ラジカルによるシリコン酸化膜の改質を行った。シリコン酸化膜の改質後の膜厚をエリプソメーターで測定した結果8.1nmの膜厚であり、改質前後での膜厚にはほとんど変化が見られなかった。

【0075】

次に、上記処理方法により作成されたシリコン酸化膜、及び、上記処理方法におけるイオン性の酸化ステップのみによる酸化を行ったシリコン酸化膜を用いてMOS構造をもつキャパシタを作成し電流-電圧特性評価を行った。その結果、本発明の中性ラジカル処理を追加した酸化膜は、中性ラジカル処理を行わなかった酸化膜に比べてリーク電流が一桁程度少ないことが確認された。

【0076】

またTDDDBを測定した結果、修復酸化していない場合に比べ、修復酸化を行った場合、破壊時間が約一桁長くなることが確認された。

【実施例2】

【0077】

処理装置200の一例として、図10に示すマイクロ波プラズマ処理装置200Aを使用し、半導体素子のゲート絶縁膜の形成を行った。処理装置200Aは、マイクロ波による表面波干渉プラズマを励起可能である。108Aは、マイクロ波を誘電体窓107を介してプラズマ処理室101Aに導入するためのスロット付無終端環状導波管である。また201Aは、プラズマ源に対し遠近移動可能なステージである。なお、図10において、図1と同一部材は同一の参照符号を有し、対応する部材の変形例又は具体例には同一の参照符号にアルファベットを付している。

【0078】

スロット付無終端環状導波管108Aは、TE10モードで、内壁断面の寸法が27mm×96mm(管内波長158.8mm)、導波管の中心径が151.6mm(一周長は管内波長の3倍)のものを用いた。スロット付無終端環状導波管108Aの材質は、マイクロ波の伝搬損失を抑えるため、すべてアルミニウム合金を用いている。スロット付無終端環状導波管108AのH面には、マイクロ波をプラズマ処理室101Aへ導入するためのスロットが形成されている。スロットは、長さ40mm、幅4mmの矩形であり、中心直径が151.6mmの位置に、放射状に60°間隔で6本形成されている。スロット付無終端環状導波管108Aには、4Eチューナ、方向性結合器、アイソレーター、2.45GHzの周波数を持つマイクロ波電源(不図示)が順に接続されている。

【0079】

被処理基体102としては8インチP型単結晶シリコン(面方位100、抵抗率10cm)を使用した。まず、被処理基体102をプラズマ処理室101へ搬送し、ステージ201A上に設置し、誘電体窓から70mmの位置にステージを移動した。また、このとき被処理基体102をヒータ104により300℃に加熱及び保持した。

【0080】

次に、処理室101内にO₂ガス及びHeガスをそれぞれ50sccm、450sccmの流量で導入し、圧力調整機構106に設けられた圧力調整弁106aの開度を調整し

10

20

30

40

50

、処理室 101 内の圧力を 66.6 Pa に保持した。その後、2.45 GHz、1.5 kW のマイクロ波電力をマイクロ波供給手段 108 A 及び誘電体窓 107 を介して処理室 101 内に投入し、プラズマ P を発生させた。このとき発生した酸素プラズマを被処理基体 102 に 3 分間暴露し、シリコン酸化膜の形成を行った。このとき形成されたシリコン酸化膜の膜厚をエリプソメーターで測定した結果 8.1 nm の膜厚であることが分かった。

【0081】

次に被処理基体 102 をプラズマ処理室 101 へ搬送し、ステージ 201 A 上に設置し、誘電体窓から 150 mm の位置にステージを移動した。

【0082】

次に、処理室 101 内を真空ポンプ 106 b で 10^{-3} Pa まで十分に真空引きを行った後、O₂ ガス及び He ガスをそれぞれ 50 sccm、450 sccm の流量で導入し、圧力調整弁 106 a の開度を調整し、処理室 101 内の圧力を 66.6 Pa に保持した。その後 2.45 GHz、1.5 kW のマイクロ波電力をマイクロ波供給手段 108 及び誘電体窓 107 を介して処理室 101 内に投入しプラズマ P を発生させた。このとき発生した酸素プラズマをシリコン酸化膜上に 3 分間暴露し、中性ラジカルによるシリコン酸化膜の改質を行った。シリコン酸化膜の改質後の膜厚をエリプソメーターで測定した結果 8.2 nm の膜厚であり、改質前後での膜厚にはほとんど変化が見られなかった。

【0083】

次に、上記処理方法により作成されたシリコン酸化膜、及び、上記処理方法におけるイオン性の酸化ステップのみによる酸化を行ったシリコン酸化膜を用いて MOS 構造をもつキャパシタを作成し電流 - 電圧特性評価を行った。その結果、本発明の中性ラジカル処理を追加した酸化膜は、中性ラジカル処理を行わなかった酸化膜に比べてリーク電流が一桁程度少ないことが確認された。

【0084】

また TDDDB を測定した結果、修復酸化していない場合に比べ、修復酸化を行った場合、破壊時間が約一桁長くなることが確認された。

【実施例 3】

【0085】

実施形態 7 の一例として、図 9 に示す処理装置 100 A を使用し、半導体素子のゲート絶縁膜の形成を行った。

【0086】

被処理基体 102 としては 8 インチ P 型単結晶シリコン（面方位 100、抵抗率 10 cm）を使用した。まず、被処理基体 102 をプラズマ処理室 101 へ搬送し、可変支持体 103 上に設置し、誘電体窓 107 から 100 mm の距離に制御した。このとき被処理基体 102 を温調部 104 のヒータにより 400 °C に加熱及び保持した。

【0087】

プラズマ装置室内に O₂ ガスを 50 sccm、He ガスを 450 sccm の流量でそれぞれ導入し、圧力調整弁 106 a の開度を調整し、処理室 101 内の圧力を 133 Pa に保持した。その後、2.45 GHz、2 kW のマイクロ波電力をマイクロ波供給手段 108 A 及び誘電体窓 107 を介して処理室 101 内に投入し、プラズマ P を発生させた。このとき発生した酸素プラズマを被処理基体 102 に 15 分間暴露し、シリコン酸化膜の形成を行った。

【0088】

次に、処理室 101 内を真空ポンプ 106 b で 10^{-3} Pa まで十分に真空引きを行った後に、H₂ ガスを 500 sccm の流量で導入し、圧力調整弁 106 a の開度を調整し、処理室 101 内の圧力を 133 Pa に保持した。その後、2.45 GHz、2 kW のマイクロ波電力をマイクロ波供給手段 108 A 及び誘電体窓 107 を介して処理室 101 内に投入しプラズマ P を発生させた。このとき発生した水素プラズマをシリコン酸化膜上に 1 分間暴露しシリコン酸化膜の改質を行った。

【0089】

10

20

30

40

50

以上のようにして形成された絶縁膜を用いてMOS構造を持つキャパシタを作成して電気特性の評価を行った。その結果、界面準位密度は $9.8 \times 10^{10} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 程度と良好な結果が得られた。

【0090】

以上説明したように、本実施例によれば、半導体基板上にイオン性の酸化処理を行った後、中性ラジカルによる修復酸化を行うことで、界面準位や固定電荷といった欠陥の少ない良質なシリコン酸化膜を高速に形成することができ、これらを用いることで高性能なMOSデバイスを提供することができる。

【0091】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されることはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。10

【図面の簡単な説明】

【0092】

【図1】本発明の実施形態1に係るマイクロ波プラズマ処理装置の概略断面図である。

【図2】図1に示すマイクロ波プラズマ処理装置を使用したプラズマ密度の圧力、及び距離との関係を示す図である。

【図3】図1に示すマイクロ波プラズマ処理装置を使用したプラズマ密度と酸化膜膜厚との関係を示す図である。

【図4】図1に示すマイクロ波プラズマ処理装置を使用した絶縁膜の形成過程を説明するための概略断面図である。20

【図5】本発明の実施形態2に係るプラズマ処理装置の概略断面図である。

【図6】本発明の実施形態3に係るプラズマ処理装置の概略断面図である。

【図7】本発明の実施形態5に係るプラズマ処理装置の概略断面図である。

【図8】本発明の実施形態6に係るプラズマ処理装置の概略断面図である。

【図9】本発明の実施例1に係るプラズマ処理装置の概略断面図である。

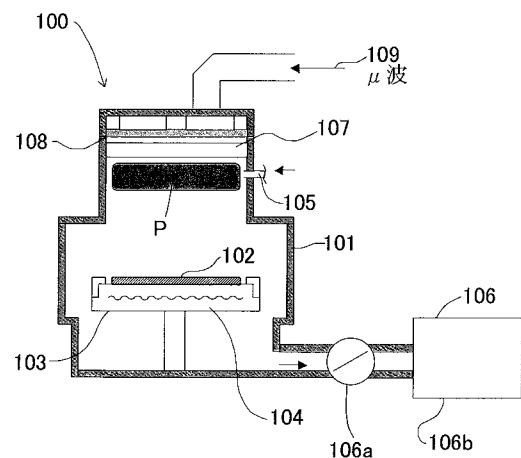
【図10】本発明の実施例2に係るプラズマ処理装置の概略断面図である。

【符号の説明】

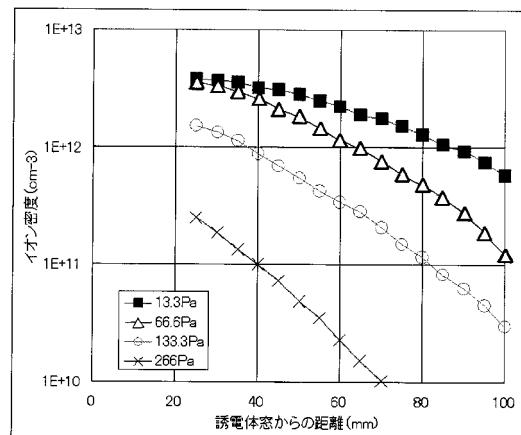
【0093】

100, 100A～100C：処理装置、101, 101A～101C：プラズマ処理室
、102：被処理基体、103：支持体（又は載置台）、104：温調部、105, 10
5A, 105B：ガス導入部、106：圧力調節機構、106a：圧力調整弁、106b
：真空ポンプ、107：誘電体窓又は高周波透過手段、108：マイクロ波供給手段又は
高周波電力供給手段、108A：スロット付無終端環状導波管、109：マイクロ波（μ
波）、110：イオン性の酸素プラズマ、111：シリコン酸化膜、112：中性ラジカル、
113：シリコン酸化膜、114：欠陥、115：空間固定電荷、201：支持体（
又は載置台）、301：高密度プラズマ源、302：リモートプラズマ源、501：支持
体（又は載置台）、502：バイアス電圧印加手段、601：磁界発生手段。30

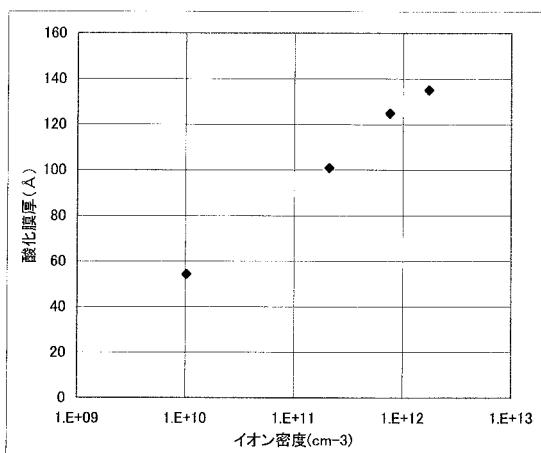
【図1】



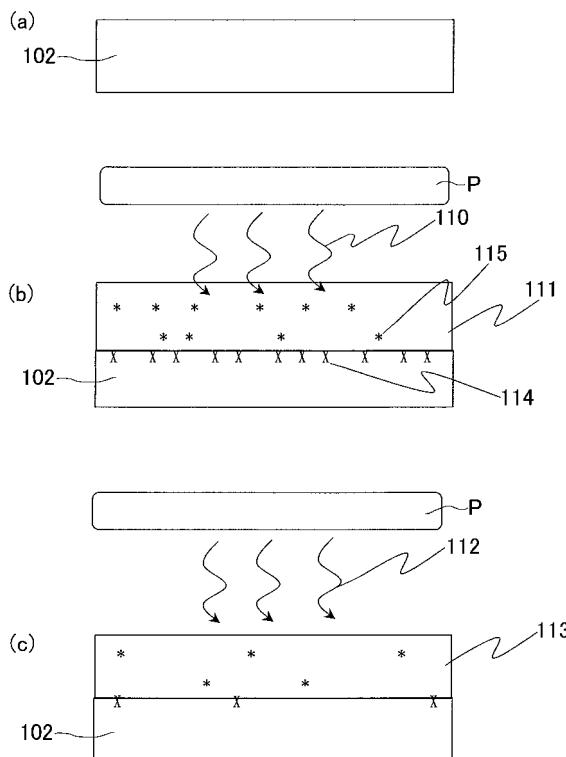
【図2】



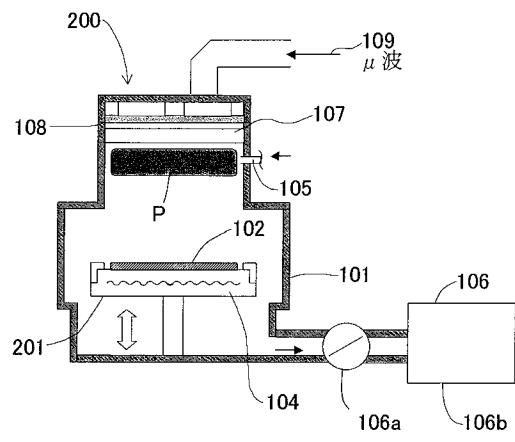
【図3】



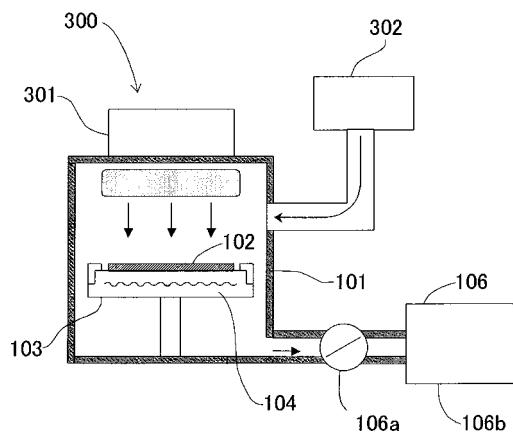
【図4】



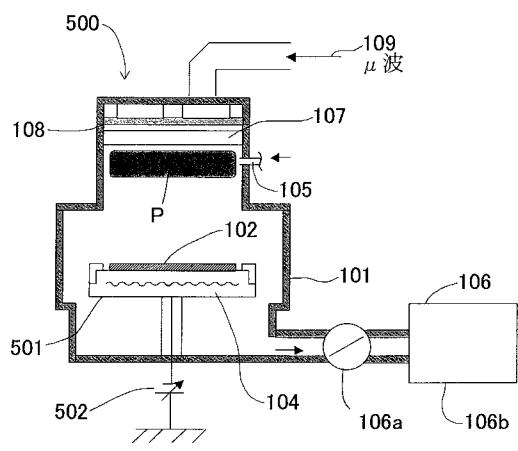
【図5】



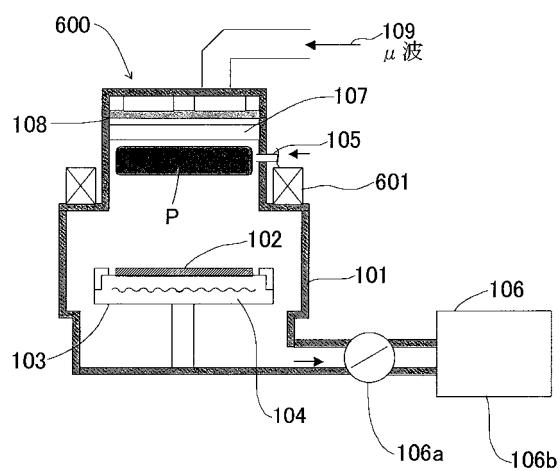
【図6】



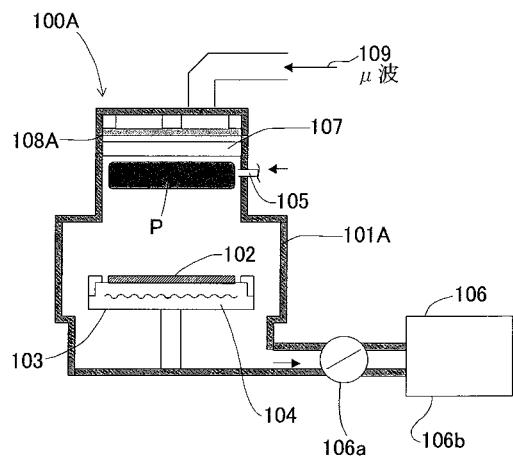
【図7】



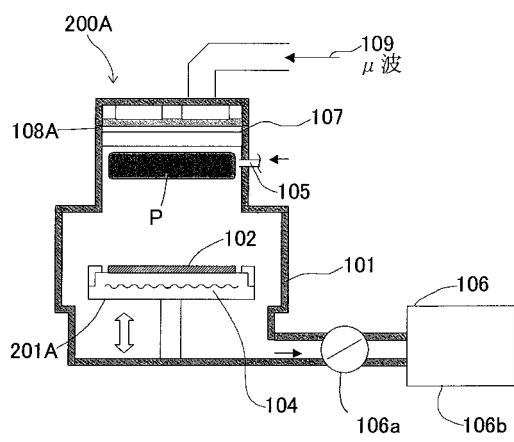
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平11-145131(JP,A)
特公昭48-021424(JP,B1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/316

H01L 21/31