

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7079686号
(P7079686)

(45)発行日 令和4年6月2日(2022.6.2)

(24)登録日 令和4年5月25日(2022.5.25)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L	21/316(2006.01)	H 0 1 L	21/316	X
H 0 1 L	21/31(2006.01)	H 0 1 L	21/31	C
H 0 1 L	21/3065(2006.01)	H 0 1 L	21/302	1 0 1 H
C 2 3 C	16/455(2006.01)	C 2 3 C	16/455	
C 2 3 C	16/509(2006.01)	C 2 3 C	16/509	

請求項の数 10 (全16頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2018-141402(P2018-141402)
 (22)出願日 平成30年7月27日(2018.7.27)
 (65)公開番号 特開2020-17698(P2020-17698A)
 (43)公開日 令和2年1月30日(2020.1.30)
 審査請求日 令和3年2月5日(2021.2.5)

(73)特許権者 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1号
 (74)代理人 100096389
 弁理士 金本 哲男
 (74)代理人 100101557
 弁理士 萩原 康司
 (74)代理人 100167634
 弁理士 扇田 尚紀
 (72)発明者 長池 宏史
 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番
 東京エレクトロン宮城株式会社内
 (72)発明者 吉越 大祐
 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番
 東京エレクトロン宮城株式会社内
 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 成膜方法及び成膜装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

容量結合型のプラズマ処理装置内の載置台に基板を配置する工程と、
 P E A L Dにより前記基板に所定の膜を成膜する工程と、
 前記基板をエッチングする工程と、を備え、
 前記成膜する工程は、
 前駆体を前記基板に吸着させる吸着工程と、
 改質ガスからプラズマを生成すると共に、前記基板に吸着された前駆体を、前記プラズマ
 に含まれるラジカルにより改質する改質工程と、を有し、
 前記容量結合型のプラズマ処理装置内で前記成膜する工程後に前記載置台にバイアス電力
 を供給して前記エッチングする工程が行われ、
 前記改質工程において、前記改質ガスからプラズマを生成するために、実効パワーが50
 0 W未満の高周波電力を供給する、基板の処理方法。

【請求項2】

前記改質工程において、50 W以上500 W未満の連続発振する高周波電力を供給する、
 請求項1に記載の基板の処理方法。

【請求項3】

前記改質工程において、デューティ比が75%以下であり且つ周波数が5 kHz以上のパ
 ルス波状に、高周波電力を供給する、請求項1に記載の基板の処理方法。

【請求項4】

前記改質工程は、所定の時間以上に亘って行われる、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の基板の処理方法。

【請求項 5】

前記ラジカルにより前記基板以外の場所に生成された反応生成物を除去するクリーニング工程を有する、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の基板の処理方法。

【請求項 6】

前記所定の膜は SiO_2 膜であり、前記前駆体は Si を含み、前記ラジカルは酸素ラジカルである、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の基板の処理方法。

【請求項 7】

前記容量結合型のプラズマ処理装置は、

前記載置台を支持する支持部材と、

前記載置台にバイアス電力を供給する電源と、

前記支持部材と処理容器の内壁との間に形成された排気路と、

前記排気路を塞ぐように設けられた、貫通孔を有する排気プレートと、

前記処理容器の底部に設けられた排気口と、を有する、請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の基板の処理方法。

【請求項 8】

容量結合型のプラズマ処理装置であって、

処理容器と、

プラズマ生成用の高周波電力を供給する高周波電源と、

載置台と、

前記載置台にバイアス電力を供給する電源と、

制御部と、を有し、

前記制御部は、

前記処理容器内の前記載置台に基板を配置する工程と、

PEALD により前記基板に所定の膜を成膜する工程であって、前駆体を前記基板に吸着させる吸着工程と、改質ガスからプラズマを生成すると共に、前記基板に吸着された前駆体を前記プラズマに含まれるラジカルにより改質する改質工程とを有する前記成膜する工程と、

前記成膜する工程の後に前記電源から前記載置台に前記バイアス電力を供給して前記基板をエッチングする工程と、

を実行するように制御し、

前記改質工程において、実効パワーが 500W 未満の高周波電力を供給させる、プラズマ処理装置。

【請求項 9】

前記所定の膜は SiO_2 膜であり、前記前駆体は Si を含み、前記ラジカルは酸素ラジカルである、請求項 8 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 10】

前記載置台を支持する支持部材と、

前記支持部材と前記処理容器の内壁との間に形成された排気路と、

前記排気路を塞ぐように設けられた、貫通孔を有する排気プレートと、

前記処理容器の底部に設けられた排気口と、をさらに有する、請求項 8 または 9 に記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、成膜方法及び成膜装置に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、プラズマエンハンスド原子層堆積法 (PEALD) によって基板上に酸

10

20

30

40

50

化膜を生成する方法が開示されている。この成膜方法では、以下のステップ (i) とステップ (i i) とからなるサイクルを反復してシリコン酸化膜等の酸化膜を P E A L D により生成する。上記ステップ (i) は、例えば前駆体を基板に吸着させるために、基板が配置される反応空間に上記前駆体を供給し、続いて吸着されていない前駆体を基板から取り除くためにパージするステップを含む。上記ステップ (i i) は、吸着された前駆体を、酸素等のプラズマに晒し、当該前駆体に表面反応を引き起こさせ、続いて反応していない成分を基板から取り除くためにパージするステップを含む。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 3 】

【文献】特開 2 0 1 5 - 6 1 0 7 5 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

本開示にかかる技術は、 P E A L D により成膜する際の生産性を向上させる。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

本開示の一態様は、容量結合型プラズマ処理装置内の載置台に基板を配置する工程と、 P E A L D により前記基板に所定の膜を成膜する工程と、前記基板をエッチングする工程と、を備え、前記成膜する工程は、前駆体を前記基板に吸着させる吸着工程と、改質ガスからプラズマを生成すると共に、前記基板に吸着された前駆体を、前記プラズマに含まれるラジカルにより改質する改質工程と、を有し、前記容量結合型のプラズマ処理装置内で前記成膜する工程後に前記載置台にバイアス電力を供給して前記エッチングする工程が行われ、前記改質工程において、前記改質ガスからプラズマを生成するために、実効パワーが 5 0 0 W 未満の高周波電力を供給する、基板の処理方法である。

【発明の効果】

【 0 0 0 6 】

本開示によれば、 P E A L D により成膜する際の生産性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 7 】

【図 1】第 1 の実施形態にかかる成膜装置としてのプラズマ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 のプラズマ処理装置におけるウェハ W の処理を説明するためのフローチャートである。

【図 3】本発明者らが行った試験におけるテストピースの貼り付け位置を説明する図である。

【図 4】確認試験 1 の結果を示す図である。

【図 5】確認試験 2 の結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 8 】

まず、特許文献 1 に記載されている従来の成膜方法について説明する。

【 0 0 0 9 】

半導体デバイスの製造工程では、半導体ウェハ等の被処理基板（以下、「基板」という。）に対して成膜処理等の処理が行われる。成膜方法としては、例えば A L D があり、成膜装置では、所定のサイクルを繰り返すことで、原子層を一層ずつ堆積し、所望の膜を基板上に形成する。

特許文献 1 の、 P E A L D によって基板上に酸化膜を生成する方法では、前述のように、以下のステップ (i) とステップ (i i) とからなるサイクルを反復する。上記ステップ (i) は、前駆体を基板に吸着させるために上記前駆体を反応空間に供給し、続いて吸着されていない前駆体を基板から取り除くためにパージする。上記ステップ (i i) は、吸

10

20

30

40

50

着された前駆体をプラズマに晒し、当該前駆体に表面反応を引き起こさせ、続いて反応していない成分を基板から取り除くためにパージする。

【 0 0 1 0 】

ところで、成膜の際、前駆体に表面反応を引き起こさせるプラズマに含まれるラジカル（酸素ラジカル等）を、基板周辺に過剰に供給しても、成膜に悪影響はない。所定量を超える分のラジカルについては、単に、前駆体からなる吸着層の改質（反応）に寄与しないだけである。したがって、成膜の際は、基板表面全体の前駆体がラジカルと反応し改質されるよう当該基板の周辺に十分な量のラジカルを供給することで、膜厚の均一性等の成膜の安定性を確保することができる。

【 0 0 1 1 】

基板表面における改質に寄与しないラジカルは、基板が収容される処理容器の内壁等といった、基板とは異なる箇所には到達する。その結果、到達した部分に前駆体等が存在するとその前駆体と反応して不要な反応生成物等（以下、「デポ」という。）を生成する。プラズマ等を用いたドライクリーニングにより、生成されたデポを除去することができる。しかし、酸素（O）ラジカル等のラジカルは寿命が長く、基板と反応しないラジカルは、ドライクリーニングでは除去しにくい場所（例えば、基板から数10cm～数m離れた、処理容器より排気方向下流側の部分）にデポを生成することがある。

【 0 0 1 2 】

デポを除去する方法は、三フッ化窒素（ NF_3 ）ガス等を使用したドライクリーニングや、リモートプラズマを使用したクリーニングを含む。しかし、処理容器より排気方向下流側の部分などプラズマが生成される領域から遠い場所に生成されたデポを除去するには長時間を要する。また、これらのクリーニングが技術的に困難である場合は、デポが付着した部分を取り外して薬液等により洗浄する方法が採られることもある。しかし、この方法もデポの除去に長時間を要する。

【 0 0 1 3 】

また、上述のようなデポを除去する方法以外に、温度のみを制御してデポの付着を抑制する方法がある。例えば、一般的にデポは低温部に付着しやすいため、デポの付着を抑制する部分を成膜対象の基板より高温にする方法がある。例えば、基板を20℃、装置内壁を60℃にすると、装置内壁に付着するデポの量を低減させることができる。しかし、ALDでの成膜は、基板の温度が高いほど反応が進む。そのため、ALDでの成膜の際、デポの付着を防止する部分を、成膜対象の基板より高温にすることが難しい場合が多い。

【 0 0 1 4 】

以下、PEALDで成膜する際に、基板表面における反応に寄与しないラジカルによる反応生成物が、ドライクリーニングで除去しにくい場所に付着（生成）する量を低減させるための、本実施形態にかかる成膜装置及び成膜方法を、図面を参照しながら説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する要素においては、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

【 0 0 1 5 】

< 第1の実施形態 >

図1は、第1の実施形態にかかる成膜装置としてのプラズマ処理装置の構成の概略を模式的に示す縦断面図である。なお、本実施形態ではプラズマ処理装置1は、成膜機能とエッチング機能の両方を有する容量結合型プラズマ処理装置を例に説明する。また、プラズマ処理装置1はOラジカルを用いて SiO_2 膜を成膜するものとする。

【 0 0 1 6 】

図1に示すように、プラズマ処理装置1は、略円筒形状の処理容器10を有している。処理容器10は、プラズマが内部で生成され、基板としての半導体ウェハ（以下、「ウェハ」という。）Wを気密に収容する。本実施形態において、処理容器10は直径300mmのウェハWを処理するためのものである。処理容器10は、例えばアルミニウムから構成されており、その内壁面には陽極酸化処理が施されている。この処理容器10は保安接地されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 7 】

処理容器 1 0 内には、ウェハ W が載置される載置台 1 1 が収容されている。

載置台 1 1 は、静電チャック 1 2 と静電チャック載置板 1 3 を有している。静電チャック 1 2 は、上方に載置部 1 2 a を有し、下方に基体部 1 2 b を有する。静電チャック載置板 1 3 は、静電チャック 1 2 の基体部 1 2 b の下方に設けられている。また、基体部 1 2 b 及び静電チャック載置板 1 3 は、導電性の材料、例えばアルミニウム (A l) 等の金属で構成されており、下部電極として機能する。

【 0 0 1 8 】

載置部 1 2 a は一対の絶縁層の間に電極が設けられた構造を有している。上記電極には、スイッチ 2 0 を介して直流電源 2 1 が接続されている。そして上記電極に直流電源 2 1 から直流電圧が印加されることにより発生する静電気力によってウェハ W が載置部 1 2 a の載置面に吸着される。

10

【 0 0 1 9 】

また、基体部 1 2 b の内部には、冷媒流路 1 4 a が形成されている。冷媒流路 1 4 a には、処理容器 1 0 の外部に設けられたチラーユニット (図示せず) から冷媒入口配管 1 4 b を介して冷媒が供給される。冷媒流路 1 4 a に供給された冷媒は、冷媒出口配管 1 4 c を介してチラーユニットに戻るようになっている。このように、冷媒流路 1 4 a の中に冷媒、例えば冷却水等を循環させることによって、載置台 1 1 及び、載置台 1 1 に載置されたウェハ W を所定の温度に冷却することができる。

【 0 0 2 0 】

また、基体部 1 2 b の冷媒流路 1 4 a の上方には、加熱素子であるヒータ 1 4 d が設けられている。ヒータ 1 4 d は、ヒータ電源 2 2 に接続され、当該ヒータ電源 2 2 により電圧を印加することによって、載置台 1 1 及び、載置台 1 1 に載置されたウェハ W を所定の温度に昇温することができる。なお、ヒータ 1 4 d は、載置部 1 2 a に設けられていてもよい。

20

【 0 0 2 1 】

また、載置台 1 1 には、ヘリウムガス等の冷熱伝達用ガス (バックサイドガス) をガス供給源 (図示せず) からウェハ W の裏面に供給するためのガス流路 1 4 e が設けられている。かかる冷熱伝達用ガスによって、載置台 1 1 の載置面に静電チャック 1 2 によって吸着保持されたウェハ W を、所定の温度に制御することができる。

30

【 0 0 2 2 】

以上のように構成された載置台 1 1 は、処理容器 1 0 の底部に設けられた略円筒形状の支持部材 1 5 に固定される。支持部材 1 5 は、例えばセラミックス等の絶縁体により構成される。

【 0 0 2 3 】

静電チャック 1 2 の基体部 1 2 b の周縁部上には、載置部 1 2 a の側方を囲むようにして、円環状に形成されたフォーカスリング 1 6 が設けられていてもよい。フォーカスリング 1 6 は、静電チャック 1 2 と同軸となるように設けられている。このフォーカスリング 1 6 は、プラズマ処理の均一性を向上させるために設けられる。なお、フォーカスリング 1 6 は、エッチング処理等のプラズマ処理に応じて適宜選択される材料から構成されており、例えばシリコン、又は石英から構成され得る。

40

【 0 0 2 4 】

載置台 1 1 の上方には、載置台 1 1 と対向するように、プラズマ源としてのシャワーヘッド 3 0 が設けられている。シャワーヘッド 3 0 は、上部電極としての機能を有し、載置台 1 1 上のウェハ W と対向するように配置される電極板 3 1、及び電極板 3 1 の上方に設けられる電極支持体 3 2 を有している。なお、シャワーヘッド 3 0 は、絶縁性遮蔽部材 3 3 を介して、処理容器 1 0 の上部に支持されている。

【 0 0 2 5 】

電極板 3 1 は、静電チャック載置板 1 3 と一対の電極 (上部電極と下部電極) として機能する。電極板 3 1 には、複数のガス噴出孔 3 1 a が形成されている。ガス噴出孔 3 1 a は

50

、処理容器 10 内において載置台 11 の上方に位置する領域である処理領域 S に、処理ガスを供給するためのものである。なお、電極板 31 は、例えば、シリコン (Si) から構成される。

【0026】

電極支持体 32 は、電極板 31 を着脱自在に支持するものであり、例えば表面が陽極酸化処理されたアルミニウム等の導電性材料から構成される。電極支持体 32 の内部には、ガス拡散室 32a が形成されている。当該ガス拡散室 32a からは、ガス噴出孔 31a に連通する複数のガス流通孔 32b が形成されている。また、電極支持体 32 には、ガス拡散室 32a に処理ガスを供給するため、ガスソース群 40 が、流量制御機器群 41、バルブ群 42、ガス供給管 43、ガス導入口 32c を介して接続されている。

10

【0027】

ガスソース群 40 は、プラズマ処理等に必要な複数種のガス供給源を有している。プラズマ処理装置 1 においては、ガスソース群 40 から選択された一以上のガス供給源からの処理ガスが、流量制御機器群 41、バルブ群 42、ガス供給管 43、ガス導入口 32c を介してガス拡散室 32a に供給される。そして、ガス拡散室 32a に供給された処理ガスは、ガス流通孔 32b、ガス噴出孔 31a を介して、処理領域 S 内にシャワー状に分散されて供給される。

【0028】

シャワーヘッド 30 を介さずに当該処理容器 10 内の処理領域 S に処理ガスを供給するために、処理容器 10 の側壁には、ガス導入孔 10a が形成されている。ガス導入孔 10a の数は 1 つであっても 2 以上であってもよい。ガス導入孔 10a には、流量制御機器群 44、バルブ群 45、ガス供給管 46 を介してガスソース群 40 が接続されている。

20

なお、処理容器 10 の側壁にはさらに、ウェハ W の搬入出口 10b が形成され、当該搬入出口 10b はゲートバルブ 10c により開閉可能となっている。

【0029】

また、処理容器 10 の側壁には、その内周面に沿ってデポシールド (以下、「シールド」という。) 50 が着脱自在に設けられている。シールド 50 は、処理容器 10 の内壁に成膜時のデポやエッチング副生物が付着することを防止するものであり、例えばアルミニウム材に Y₂O₃ 等のセラミックスを被覆することにより構成される。また、シールド 50 に対向する面であって、支持部材 15 の外周面には、シールド 50 と同様のデポシールド (以下、「シールド」という。) 51 が、着脱自在に設けられている。

30

【0030】

処理容器 10 の底部には、当該処理容器内を排気するための排気口 52 が形成されている。排気口 52 には例えば真空ポンプ等の排気装置 53 が接続され、当該排気装置 53 により処理容器 10 内を減圧可能に構成されている。

【0031】

さらに、処理容器 10 内には、前述の処理領域 S と排気口 52 とを接続する排気路 54 を有する。排気路 54 は、シールド 50 の内周面を含む処理容器 10 の側壁の内周面とシールド 51 の外周面を含む支持部材 15 の外周面とにより画成される。処理領域 S 内のガスは排気路 54 及び排気口 52 を介して処理容器 10 外に排出される。

40

【0032】

排気路 54 の排気口 52 側の端部すなわち排気方向下流側の端部には、平板状の排気プレート 54a が、当該排気路 54 を塞ぐように設けられている。ただし、排気プレート 54a には貫通孔が設けられているため、排気路 54 及び排気口 52 を介した処理容器 10 内の排気が排気プレート 54a に妨げられることはない。排気プレート 54a は、例えばアルミニウム材に Y₂O₃ 等のセラミックスを被覆することにより構成される。

【0033】

さらに、プラズマ処理装置 1 には、第 1 の高周波電源 23a、第 2 の高周波電源 23b が、それぞれ第 1 の整合器 24a、第 2 の整合器 24b を介して接続されている。

【0034】

50

第1の高周波電源23aは、後述の制御部100の制御の下、実効パワーが500W未満のプラズマ発生用の高周波電力を発生しシャワーヘッド30に供給する。本実施形態の第1の高周波電源23aは、電力の大きさが50W以上500W未満の連続発振する高周波電力をシャワーヘッド30の電極支持体32に供給する。第1の高周波電源23aからの高周波電力の周波数は、例えば27MHz~100MHzである。第1の整合器24aは、第1の高周波電源23aの出力インピーダンスと負荷側（電極支持体32側）の入力インピーダンスを整合させるための回路を有している。

【0035】

第2の高周波電源23bは、ウェハWにイオンを引き込むための高周波電力（高周波バイアス電力）を発生して、当該高周波バイアス電力を静電チャック載置板13に供給する。高周波バイアス電力の周波数は、400kHz~13.56MHzの範囲内の周波数であり、一例においては3MHzである。第2の整合器24bは、第2の高周波電源23bの出力インピーダンスと負荷側（静電チャック載置板13側）の入力インピーダンスを整合させるための回路を有している。

10

【0036】

以上のプラズマ処理装置1には、制御部100が設けられている。制御部100は、例えばコンピュータであり、プログラム格納部（図示せず）を有している。プログラム格納部には、プラズマ処理装置1におけるウェハWの処理を制御するプログラムが格納されている。また、プログラム格納部には、各種処理をプロセッサにより制御するための制御プログラムや、処理条件に応じてプラズマ処理装置1の各構成部に処理を実行させるためのプログラム、即ち、処理レシピが格納されている。なお、上記プログラムは、コンピュータに読み取り可能な記憶媒体に記録されていたものであって、当該記憶媒体から制御部100にインストールされたものであってもよい。

20

【0037】

次に、以上のように構成されたプラズマ処理装置1におけるウェハWの処理について図2を用いて説明する。

【0038】

（ステップS1）

まず、図2に示すように、ウェハWが処理容器10内に搬送される。具体的には、処理容器10内が排気されて、所定の圧力の真空雰囲気とされた状態でゲートバルブ10cが開かれ、処理容器10に隣接する真空雰囲気の搬送室から搬送機構によってウェハWが載置台11上に搬送される。載置台11へのウェハWの受け渡し、及び搬送機構の処理容器10からの退出が行われると、ゲートバルブ10cが閉鎖される。

30

【0039】

（ステップS2）

次いで、Siを含む反応前駆体をウェハWに形成する。具体的には、ガスソース群40の複数のガスソースのうち選択されたガスソースから、ガス導入孔10aを介して、Si原料ガスが処理容器10内に供給される。これにより、Siを含む反応前駆体からなる吸着層をウェハWに形成する。なお、この際、排気装置53を動作させることにより、処理容器10内の圧力が所定の圧力に調整される。Si原料ガスは例えばアミノシラン系ガスである。

40

【0040】

（ステップS3）

次に、処理容器10内の空間がパージされる。具体的には、気相状態で存在するSi原料ガスが処理容器10内から排気される。排気の際、パージガスとしてAr等の希ガスや窒素ガスといった不活性ガスが処理容器10に供給されてもよい。なお、このステップS3は省略してもよい。

【0041】

（ステップS4）

次に、プラズマ処理によりウェハW上にSiO₂が形成される。具体的には、ガスソース

50

群 40 の複数のガスソースのうち選択されたガスソースから、O 含有ガスがシャワーヘッド 30 を介して処理容器 10 内に供給される。また、第 1 の高周波電源 23 a から、電力の大きさが 50 W 以上 500 W 未満の連続発振する高周波電力が供給される。さらに、排気装置 53 を動作させることにより、処理容器 10 内の空間の圧力が所定の圧力に調整される。これにより、O 含有ガスからプラズマが生成される。そして、生成されたプラズマに含まれるオラジカルがウェハ W に形成された Si 前駆体を改質する。具体的には、前述の前駆体が Si と水素の結合を含むところ、オラジカルにより、上記前駆体の水素が酸素に置換され、ウェハ W 上に SiO₂ が形成される。O 含有ガスは例えば二酸化炭素 (CO₂) ガスや酸素 (O₂) ガスである。

オラジカルによるウェハ W (前駆体) の改質は、所定の時間以上に亘って行われる。上記所定の時間は、高周波電力の大きさに応じて予め定められる。

10

【0042】

(ステップ S5)

次いで、処理容器 10 内の空間がパージされる。具体的には、O 含有ガスが処理容器 10 内から排気される。排気の際、パージガスとして Ar 等の希ガスや窒素ガスといった不活性ガスが処理容器 10 に供給されてもよい。なお、このステップ S5 は省略してもよい。

【0043】

上述のステップ S2 ~ S5 のサイクルが一回以上行われることで SiO₂ の原子層がウェハ W の表面に積層されて SiO₂ 膜が形成される。なお、上記サイクルの実行回数は、SiO₂ 膜の所望の膜厚に応じて設定される。

20

【0044】

本実施形態では、ステップ S4 において、プラズマ生成用の高周波電力として、電力の大きさが 50 W 以上 500 W 未満の連続発振する高周波電力が供給される。ステップ S4 において連続発振する高周波電力の大きさを 50 W 以上 500 W 未満とすれば、ドライクリーニングにより除去しにくい場所へのデポの付着量を SiO₂ の成膜性を損なわずに低減できることが本発明者らにより確認されている。なお、「ドライクリーニングにより除去しにくい場所」とは、排気プレート 54 a より排気方向下流側の部分等である。また、上述の「成膜性」とは、所定時間内に形成される膜厚及びその面内均一性である。

【0045】

(ステップ S6)

上述したステップ S2 ~ S5 のサイクルの実行が終了すると、当該サイクルの停止条件を満たすか否か判定され、具体的には例えば、サイクルが所定回数行われたか否か判定される。

30

上記停止条件を満たさない場合 (NO の場合)、再度ステップ S2 ~ S5 のサイクルが実行される。

【0046】

(ステップ S7)

上記停止条件を満たす場合 (YES の場合)、つまり、成膜が終了した場合、得られた SiO₂ 膜をマスクとしたエッチング対象層のエッチング等、所望の処理が同じ処理容器 10 内で行われる。なお、このステップ S7 は省略してもよい。

40

本例では、処理容器 10 内で成膜後にエッチングが続けて行われているが、エッチング後に成膜を行ってもよいし、エッチングとエッチングとの間に成膜を行ってもよい。

【0047】

(ステップ S8)

その後、処理容器 10 への搬入時とは逆の手順でウェハ W が処理容器 10 から搬出されて、プラズマ処理装置 1 における処理が終了する。

【0048】

また、所定の枚数のウェハ W に対する上述のような処理が行われた後に、プラズマ処理装置 1 のクリーニングが行われる。具体的には、ガスソース群 40 の複数のガスソースのうち選択されたガスソースから、F 含有ガスが処理容器 10 内に供給される。また、第 1 の

50

高周波電源 2 3 a から高周波電力が供給される。さらに、排気装置 5 3 を動作させることにより、処理容器 1 0 内の空間の圧力が所定の圧力に設定される。これにより、F 素含有ガスからプラズマが生成される。生成されたプラズマ中の F ラジカルは、処理容器 1 0 内に付着した O ラジカル起因のデポを分解し除去する。また、クリーニングの際に処理容器 1 0 より排気方向下流側の部分にデポが付着していても、当該デポは少量であれば上記 F ラジカルにより分解し除去される。デポは分解されて排気装置 5 3 により排出される。なお、上述の F 含有ガスは、例えば C F₄ ガス、S F₆ ガス、N F₃ ガス等である。クリーニングガスは、これらの F 含有ガスを含み、必要に応じて、O₂ ガス等の酸素含有ガスや A r ガスが加えられる。また、クリーニング時の処理容器 1 0 内の圧力は百～数百 m T o r r である。

10

【 0 0 4 9 】

以上、本実施形態によれば、O 含有ガスのプラズマを生成して該プラズマに含まれる O ラジカルによりウェハ W の表面を改質し S i O₂ を形成する際、第 1 の高周波電源 2 3 a から、電力の大きさが 5 0 W 以上 5 0 0 W 未満の連続発振する高周波電力を供給する。したがって、O ラジカルが前駆体でできた吸着層と反応して生成されるデポの付着量、具体的には、排気プレート 5 4 a より排気方向下流側の部分への付着量を、少なくすることができる。もし付着したとしてもわずかであり、簡易なドライクリーニングを用いて短時間で、付着したデポを除去することができる。よって、生産性を向上させることができる。

【 0 0 5 0 】

なお、第 1 の高周波電源 2 3 a から供給する、連続発振する高周波電力の大きさを 5 0 W 以上 5 0 0 W 未満とすることによりデポの付着量が低減されるメカニズムとしては以下が考えられる。

20

連続発振する高周波電力の大きさを 5 0 W 以上 5 0 0 W 未満とすると、処理領域 S に発生する O ラジカルの量は、ウェハ W の全面の反応前駆体が反応するのに十分な量であるが、例えば 1 0 0 0 W 以上の場合と比べて少ない。したがって、ウェハ W の表面の処理に寄与せず且つ処理領域 S や排気路 5 4 内において失活しない O ラジカルは、少なくなる。その結果、O ラジカルに起因するデポの付着量、特に、排気プレート 5 4 a より排気方向下流側の部分等といった不要な部分へのデポの生成量が、減少すると考えられる。

【 0 0 5 1 】

また、本実施形態の方法では、処理容器 1 0 内全体や排気プレート 5 4 a より排気方向下流側の部分全体という広い領域について、デポの付着量を低減させることができる。

30

【 0 0 5 2 】

(確認試験 1)

本発明者らは、図 3 に示すような部分 P 1 ~ P 4 にテストピースを貼り付けて上述のステップ S 2 ~ S 5 のサイクルを 5 0 0 回または 6 0 0 回繰り返したときに、テストピースに付着するデポの量について、試験を行った。部分 P 1 とは、処理容器 1 0 の側壁とシールド 5 0 との間の部分であって、載置台 1 1 上のウェハ W より上方の部分である。また、部分 P 2 とは、部分 P 1 とは、処理容器 1 0 の側壁とシールド 5 0 との間の部分であって、載置台 1 1 上のウェハ W と略同じ高さの部分である。部分 P 3 とは、処理容器 1 0 の側壁とシールド 5 0 との間の部分であって、載置台 1 1 上のウェハ W より下方の部分である。部分 P 4 は、排気プレート 5 4 a より下流側の部分であって、排気プレート 5 4 a に最も近いマニホールドの最も下方の部分である。

40

【 0 0 5 3 】

本発明者らは、上述の確認試験では、O ラジカルのプラズマ生成時の連続発振する高周波電力の大きさを異ならせてデポの量を測定した。

図 4 は、確認試験 1 の結果であって、処理条件 1 - 1 ~ 1 - 4 で O ラジカルのプラズマを生成したときのデポの量を示す図である。

処理条件 1 - 1、1 - 2、1 - 3、1 - 4 における上記連続発振する高周波電力の大きさはそれぞれ 1 0 0 0 W、4 0 0 W、2 5 0 W、1 5 0 W である。また、処理条件 1 - 1 ~ 1 0 3 では、上述のステップ S 2 ~ S 5 のサイクルを 5 0 0 回繰り返し、処理条件 1 - 4

50

では600回繰り返した。

【0054】

この確認試験1では、図4に示すように、処理条件1-1のとき、すなわち、上記連続発振する高周波電力の大きさが1000Wのとき、上記部分P1～P4のいずれにおいてもデポの量が80nm以上と多い。それに対し、処理条件1-2～1-4のとき、すなわち、上記連続発振する高周波電力の大きさが、400W、250W、150Wのときは、1000Wのときと比べて、上記部分P1～P4のいずれにおいてもデポの量が減少することが確認された。また、上記連続発振する高周波電力が下げられると、それに合わせてデポの量が減少することが確認された。

【0055】

なお、上述の確認試験1の際に得られたSiO₂の面内均一性は、上記連続発振する高周波電力の大きさが50W以上であれば電力の大きさによりほとんど差が無かった。

【0056】

また、上述の確認試験1と同様に連続発振する高周波電力を用いて成膜されたSiO₂膜に対して、プラズマエッチングを行った。エッチング条件は、以下の通りである。

処理チャンバ内圧力：40mTorr

プラズマ形成用高周波電力：300W

バイアス用高周波電力：100W

ガス流量：CF₄/Ar = 500/40sccm

エッチング時間：15秒

【0057】

この結果によれば、上記連続発振する高周波電力の大きさを変えても、エッチング量及びその面内均一性に差はなかった。具体的には、上記連続発振する高周波電力の大きさが400W、250Wの場合、エッチング量の平均値はそれぞれ、22.5nm、22.6nmであり、エッチング量の面内バラつきは両方とも平均値から±3.5%であった。つまり、デポ対策として上記連続発振する高周波電力の大きさを変えても、実用上問題ないことが分かった。

【0058】

<第2の実施形態>

第2の実施形態のプラズマ処理装置1は、第1の実施形態のプラズマ処理装置1と、プラズマ生成用の高周波電源のみが異なる。

【0059】

本実施形態において、実効パワーが500W未満のプラズマ生成用の高周波電力を供給する第1の高周波電源23aはオンレベルとなる期間とオフレベルになる期間が周期的に連続するパルス状の電力も供給し得る。なお、パルス状の電力におけるオフレベルはゼロでなくてもよい。つまり、第1の高周波電源23aは、高レベルとなる期間と低レベルとなる期間が周期的に連続するパルス状の電力をも発生し得る。

【0060】

本実施形態において、第1の高周波電源23aは、パルス変調する場合、デューティ比が75%以下であり且つ周波数が5kHz以上のパルス波状に、実効パワーが500W未満の高周波電力を供給する。より具体的には、本実施形態において、第1の高周波電源23aは、デューティ比が50%未満であり且つ周波数が5kHz以上20kHz以下のパルス波状に、電力の大きさが150W以上300W以下の高周波電力を供給する。なお、パルス変調する場合における実効パワーとは、高周波電力の大きさにデューティ比を乗じたものである。例えば、パルス波状に供給される高周波電力の大きさが1000W、デューティ比が30%の場合、実効パワーは300Wである。

【0061】

本実施形態では、ステップS4でプラズマに含まれるオラジカルによりウェハWの表面を改質しSiO₂を形成する際、デューティ比が75%以下であり且つ周波数が5kHz以上のパルス波状に、実効パワーが500W未満の高周波電力を供給する。本発明者らはパ

10

20

30

40

50

ルス波状に高周波電力を供給することにより、 SiO_2 の成膜性を損なわずに、ドライクリーニングにより除去しにくい場所へのデポの付着量を低減できることを確認した。また、本発明者らは本実施形態において第1の実施形態で用いられた高周波電力の大きさと同じ大きさの高周波電力を用いると、ドライクリーニングにより除去しにくい場所へのデポの付着量を第1の実施形態よりも低減できることを確認した。

【0062】

なお、上述のドライクリーニングにより除去しにくい場所へのデポの付着量が低減されるメカニズムとしては以下が考えられる。

デューティ比が75%未満であり且つ周波数が5kHz以上のパルス波の実効パワーが500W未満の高周波電力を供給した場合、処理領域Sに発生するラジカルの量は、ウェハWの全面の反応前駆体が反応するのに十分な量である。ただし、上記ラジカルの量は、同等のパワーの連続発振する高周波電力を供給する場合に比べて、少ない。したがって、ウェハWの表面の処理に寄与せず且つ処理領域Sや排気路54内において失活しないラジカルは、さらに少なくなる。その結果、ラジカルに起因するデポの付着量、特に、排気プレート54aより排気方向下流側の部分といった、ドライクリーニングにより除去しにくい場所への付着量が、減少すると考えられる。

【0063】

(確認試験2)

本発明者らは、図3に示すような部分P1~P4にテストピースを貼り付けてステップS2~S5のサイクルを500回繰り返したときに、テストピースに付着するデポの量について、試験を行った。

【0064】

本発明者らは、上述の確認試験では、処理容器10内の圧力を200mTorrにして、ステップS4において供給する高周波電力のパルス波の周波数を異ならせ、デポの量を測定した。

図5は、確認試験2の結果であって、処理条件2-1~処理条件2-5でラジカルのプラズマを生成したときのデポの量を示す図である。

処理条件2-1、2-2、2-3、2-4、2-5における高周波電力のパルス波の周波数はそれぞれ5kHz、10kHz、20kHz、30kHz、50kHzである。また、処理条件2-1~2-5において、高周波電力の大きさ、パルス波のデューティ比、ステップS4の時間(ステップタイム)は共通であり、それぞれ200W、50%、4秒である。さらに、処理条件2-1~2-5において、 CO_2 ガスの流量及びArガスの流量も共通であり、それぞれ、290sccm、40sccmである。

【0065】

この確認試験2では、図5に示すように、処理条件2-1のとき、すなわち、上記パルス波の周波数が5kHzのとき、部分P1~P4のいずれにおいてもデポの量が80nm未満であり、65nm以下であった。つまり、200Wの大きさの高周波電力をパルス波状に供給すると、図4の処理条件1-1のとき、すなわち、1000Wの連続発振する高周波電力を供給するときと比べて、上記部分P1~P4のいずれにおいてもデポの量が約20%以上減少する。処理条件2-2~2-5についても同様であり、最大では99%以上減少する。

【0066】

なお、確認試験2の際に得られた SiO_2 の膜厚及びその面内均一性は、処理条件2-1~2-5のいずれにおいても、600Wの連続発振する高周波電力を用いてプラズマを生成し SiO_2 膜を成膜する場合とほとんど差がなかった。具体的には、例えば処理条件2-3のときと、高周波電力の大きさを異ならせて300Wとした場合、 SiO_2 膜の膜厚の平均値は4.0nmであり、膜厚の面内均一性の平均値は $\pm 2.7\%$ であった。それに対し、プラズマ生成用の高周波電力のみ処理条件2-3と異ならせ、600Wの連続発振する高周波電力を用い、 SiO_2 膜を成膜した場合、 SiO_2 膜の膜厚の平均値は4.3nmであり、膜厚の面内均一性の平均値は $\pm 2.6\%$ であった。つまり、プラズマ生成用

10

20

30

40

50

に、パルス波状に低電力の高周波電力を供給しても、 SiO_2 膜の均一性に大きな影響はなく、また、膜厚は連続発振する高周波電力を供給する場合に比べてわずかに減少するが、この膜厚はサイクル数で調整可能である。

なお、ステップタイムのみを処理条件2-2と異ならせ2秒とし、 SiO_2 膜を成膜した場合、膜厚の平均値は3.57nm、膜厚の面内均一性の平均値は $\pm 4.4\%$ であった。

【0067】

また、上述の確認試験2と同様にパルス波状の高周波電力を用いて成膜された SiO_2 膜に対して、プラズマエッチングを行った。エッチング条件は、以下の通りである。

処理チャンバ内圧力：40mTorr

プラズマ形成用高周波電力：300W

バイアス用高周波電力：100W

ガス流量： $\text{CF}_4 / \text{Ar} = 500 / 40 \text{ sccm}$

エッチング時間：15秒

【0068】

この結果によれば、パルス波状に供給される高周波電力のパルス周波数を変えても、エッチング量及びその面内均一性に差はなかった。例えば、高周波電力の大きさ、デューティ比及びステップタイムを処理条件2-1等で共通なものとし、パルス波の周波数が10kHz（処理条件2-2）の場合及び20kHz（処理条件2-3）の場合、エッチング量の平均値は両方とも22.3nmであった。また、エッチング量の面内バラつきは、10kHz（処理条件2-2）の場合は平均値から $\pm 3.2\%$ 、20kHz（処理条件2-3）の場合は平均値から $\pm 3.6\%$ であった。つまり、デポ対策として上記パルス周波数の大きさを変えても、実用上問題ないことが分かった。

【0069】

また、上述のエッチング結果によれば、ステップタイムを変えても、エッチング量及びその面内均一性に差はなかった。例えば、パルス波の周波数、高周波電力の大きさ、デューティ比及びステップタイムを処理条件2-2と同様にして成膜した場合（ステップタイムは4秒）、エッチング量の平均値は22.3nmであり、エッチング量の面内バラつきは平均値から $\pm 3.2\%$ である。このように成膜した場合に対して、ステップタイムのみを異ならせ8秒として成膜しても、そのエッチング量の平均値及びその面内バラつきは変わらず、また、ステップタイムのみを異ならせ2秒として成膜しても上記平均値等はほとんど変わらなかった。なお、ステップタイムを2秒とした場合のエッチング量の平均値は22.0nmであり、エッチング量の面内バラつきは平均値から $\pm 4.0\%$ である。

【0070】

以上の例では、プラズマ処理装置1において、成膜と当該成膜後のエッチングを行っていたが、成膜前にエッチングを行い当該エッチングに成膜を行ってもよい。また、プラズマ処理装置1において、成膜の前後の両方でエッチングを行ってもよく、成膜のみでエッチングを行わなくてもよい。

【0071】

以上の例では、プラズマ処理装置1は、成膜やエッチングに容量結合型プラズマを用いていた。しかし、成膜やエッチングに、誘導結合型プラズマを用いてもよいし、マイクロ波といった表面波プラズマを用いてもよい。

【0072】

また、以上の例では、ラジカルを用いて SiO_2 膜の成膜を行っていたが、窒素ラジカルにより形成される SiN 膜など、他のラジカルを用いて成膜を行う場合にも適用できる。

【0073】

今回開示された実施形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。上記の実施形態は、添付の請求の範囲及びその主旨を逸脱することなく、様々な形態で省略、置換、変更されてもよい。

【0074】

なお、以下のような構成も本開示の技術的範囲に属する。

10

20

30

40

50

(1) P E A L D により基板に所定の膜を成膜する成膜方法であって、
前駆体を基板に吸着させる吸着工程と、
改質ガスからプラズマを生成すると共に、基板に吸着された前駆体を、前記プラズマに含まれるラジカルにより改質する改質工程と、を有し、
前記改質工程は、前記改質ガスからプラズマを生成するプラズマ源に、実効パワーが 5 0 0 W 未満の高周波電力を供給する電力供給工程を有する、成膜方法。

【 0 0 7 5 】

(2) 前記電力供給工程は、5 0 W 以上 5 0 0 W 未満の連続発振する高周波電力を供給する、前記 (1) に記載の成膜方法。

(3) 前記電力供給工程は、デューティ比が 7 5 % 以下であり且つ周波数が 5 k H z 以上のパルス波状に、高周波電力を供給する、前記 (1) に記載の成膜方法。

10

(4) 前記改質工程は、所定の時間以上に亘って行われる、前記 (1) ~ (3) のいずれか一つに記載の成膜方法。

【 0 0 7 6 】

(5) 前記ラジカルにより前記基板以外の場所に生成された反応生成物を除去するクリーニング工程を有する、前記 (1) ~ (4) のいずれか一つに記載の成膜方法。

【 0 0 7 7 】

(6) P E A L D により基板に所定の膜を成膜する成膜装置であって、
プラズマが内部で生成され基板を気密に収容する処理容器と、
前記処理容器内において、基板に形成された前駆体を改質する改質ガスからプラズマを生成するプラズマ源と、
前記プラズマ源に、プラズマ生成用の高周波電力を供給する高周波電源と、
前記高周波電源を制御し、プラズマ生成用の電力として、実効パワーが 5 0 0 W 未満の高周波電力を前記プラズマ源に供給させる制御部とを有する、成膜装置。

20

【 符号の説明 】

【 0 0 7 8 】

- 1、1 a プラズマ処理装置
- 1 0 処理容器
- 2 3 a 第 1 の高周波電源
- 3 0 シャワーヘッド
- 1 0 0 制御部
- W ウェハ

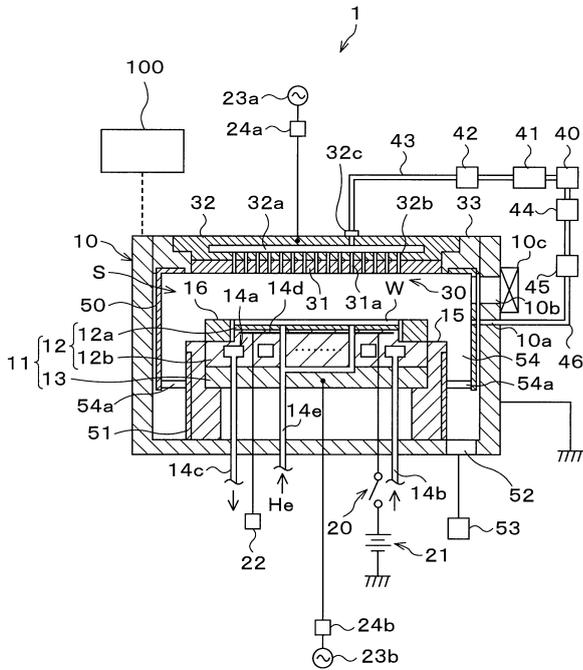
30

40

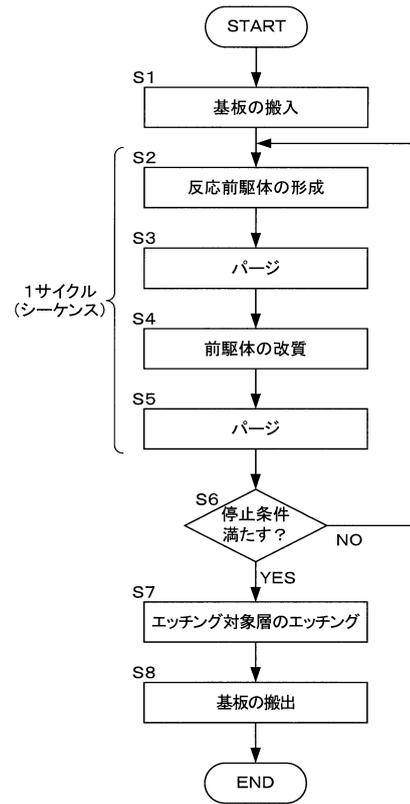
50

【図面】

【図1】



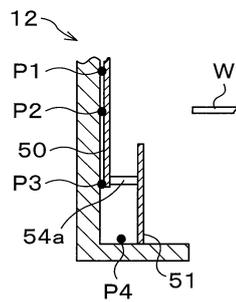
【図2】



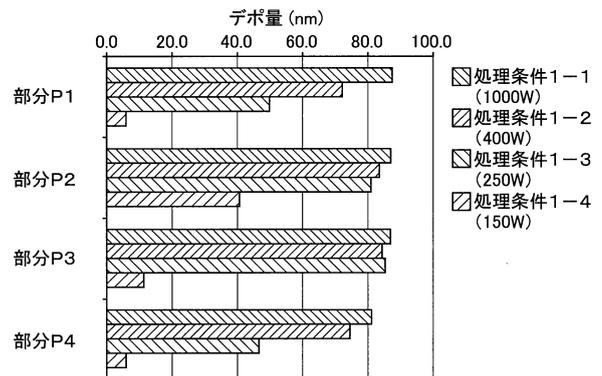
10

20

【図3】



【図4】

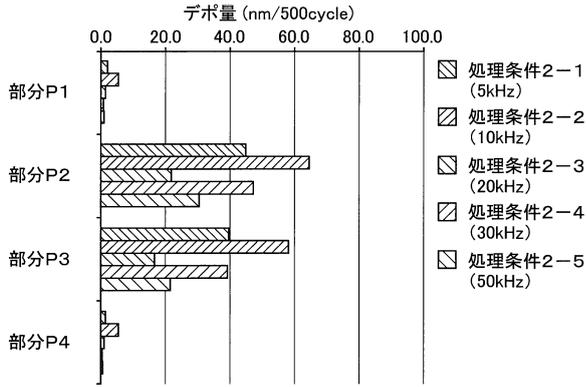


30

40

50

【 図 5 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類
C 2 3 C 16/44 (2006.01) F I
 C 2 3 C 16/44 J
 H 0 1 L 21/302 1 0 1 B

(72)発明者 舟久保 隆男
 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内

(72)発明者 岩 崎 峰久
 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内

(72)発明者 謝 其儒
 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内

(72)発明者 東 佑樹
 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内

審査官 長谷川 直也

(56)参考文献 国際公開第2018/066884(WO, A1)
 特開2008-021860(JP, A)
 特開2011-187934(JP, A)
 国際公開第2004/085703(WO, A1)
 特開2015-061075(JP, A)
 特開2015-144268(JP, A)
 特開2018-061007(JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
 H 0 1 L 2 1 / 3 1 6
 H 0 1 L 2 1 / 3 1
 H 0 1 L 2 1 / 3 0 6 5
 C 2 3 C 1 6 / 4 5 5
 C 2 3 C 1 6 / 5 0 9
 C 2 3 C 1 6 / 4 4