(19)日本国特許庁(JP)

# (12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7469303号
(P7469303)

(45)発行日　令和6年4月16日(2024.4.16)

(24)登録日　令和6年4月8日(2024.4.8)

| (51)国際特許分類 | | FI | | |
|---|---|---|---|---|
| *C23C 14/34 (2006.01)* | | C23C | 14/34 | S |
| *C23C 14/58 (2006.01)* | | C23C | 14/58 | C |

請求項の数　9　（全22頁）

(21)出願番号　特願2021-524846(P2021-524846)
(86)(22)出願日　令和2年6月2日(2020.6.2)
(86)国際出願番号　PCT/JP2020/021712
(87)国際公開番号　WO2020/246449
(87)国際公開日　令和2年12月10日(2020.12.10)
審査請求日　令和4年8月31日(2022.8.31)
(31)優先権主張番号　特願2019-106442(P2019-106442)
(32)優先日　令和1年6月6日(2019.6.6)
(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)

(73)特許権者　000002428
芝浦メカトロニクス株式会社
神奈川県横浜市栄区笠間２丁目５番１号
(74)代理人　100081961
弁理士　木内 光春
(74)代理人　100112564
弁理士　大熊 考一
(74)代理人　100163500
弁理士　片桐 貞典
(74)代理人　230115598
弁護士　木内 加奈子
(72)発明者　小野 大祐
神奈川県横浜市栄区笠間二丁目５番１号
芝浦メカトロニクス株式会社内
審査官　今井 淳一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　成膜装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

ワーク上に膜を形成する成膜装置であって、

内部が真空とすることが可能なチャンバと、

前記チャンバ内に設けられ、前記ワークを円周の搬送経路で循環搬送する回転テーブルを有する搬送部と、

前記膜を構成する材料からなるターゲットと、前記ターゲットと前記回転テーブルとの間に導入されたスパッタガスをプラズマ化するプラズマ発生器とを有し、プラズマにより前記ターゲットをスパッタリングして前記ワーク上に膜を形成する成膜処理部と、

前記チャンバの内部空間に突出し、前記搬送経路に向かって開口する筒状体と、前記筒状体の開口を塞ぐように設けられた窓部材と、前記回転テーブルと前記筒状体との間に形成される処理空間に第１プロセスガスを導入する第１プロセスガス導入部と、前記窓部材を介して前記処理空間に電界を発生させるアンテナと、前記アンテナに高周波電圧を印加する電源と、を有し、前記第１プロセスガスをプラズマ化して前記処理空間に誘導結合プラズマを発生させ、前記膜を化学反応させる膜処理部と、

一端に開口部が設けられ、前記開口部が前記搬送経路に向かうように前記チャンバに取り付けられた筒形電極と、前記筒形電極の内部に第２プロセスガスを導入する第２プロセスガス導入部と、前記チャンバと電気的に接続された前記回転テーブルと前記筒形電極とに接続され前記筒形電極に対して高周波電圧を印加する電源と、を有し、前記第２プロセスガスをプラズマ化して生成されたイオンを前記膜に照射するイオン照射部と、

を備え、
前記搬送部は、前記成膜処理部と前記膜処理部と前記イオン照射部とを通過するように前記ワークを循環搬送し、
前記イオン照射部は、前記ワーク上の形成途中の前記膜にイオンを照射して、前記膜を平坦化すること、
を特徴とする成膜装置。
【請求項２】
前記搬送部は、前記ワークが前記膜処理部を通過した後、前記イオン照射部を通過するように搬送すること、
を特徴とする請求項１記載の成膜装置。
【請求項３】
前記搬送部は、前記ワークが前記イオン照射部を通過した後、前記膜処理部を通過するように搬送すること、
を特徴とする請求項１記載の成膜装置。
【請求項４】
前記搬送部は、二方向の前記循環搬送が可能に構成され、
前記膜処理部と前記イオン照射部とは隣接して設けられていること、
を特徴とする請求項２又は３記載の成膜装置。
【請求項５】
前記第１プロセスガスは、酸素又は窒素を含むこと、
を特徴とする請求項１～４の何れかに記載の成膜装置。
【請求項６】
複数の前記成膜処理部を備え、
前記複数の前記成膜処理部は、前記ワーク上に異なる組成の前記膜を交互に積層させて形成すること、
を特徴とする請求項１～５の何れかに記載の成膜装置。
【請求項７】
前記第２プロセスガスは、アルゴンを含むこと、
を特徴とする請求項１～６の何れかに記載の成膜装置。
【請求項８】
前記第２プロセスガスは、酸素若しくは窒素、又は、アルゴンと酸素若しくは窒素を含むこと、
を特徴とする請求項１～６の何れかに記載の成膜装置。
【請求項９】
前記回転テーブルは回転軸を中心として回転することで前記ワークを循環搬送し、
前記回転軸と、前記回転テーブルにおいて前記ワークを載置する面とは直交していることを特徴とする請求項１～８の何れか記載の成膜装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、成膜装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
光学機器には、光学膜が形成されており、この光学膜は、所定の波長領域の光を反射させ、他の波長領域の光を透過させる。光学機器としては、例えば、液晶プロジェクター、複写機、赤外線センサの集光ミラーなどのコールドミラーが挙げられる。コールドミラーは、可視光を反射させ、所定の波長領域の光を透過させる光学膜となる積層膜が形成されている。このような積層膜を形成する方法としては、成膜材料からなるターゲットをプラズマに曝すことでターゲットを構成する粒子を叩き出し、当該粒子をワーク上に堆積させるスパッタリングによる手法が知られている。

【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【文献】特開２００５－２６６５３８号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
ここで、スパッタリングにより形成された積層膜は、堆積した粒子が疎の部分と密な部分が生じることにより、膜の表面に凹凸が生じることが知られている。このように表面に凹凸が生じた膜を積層した光学膜となる積層膜は、膜同士の界面で光の乱反射が生じ、透過率等の光学特性が悪化する場合があった。
【０００５】
本発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、その目的は、光学特性の悪化を抑制した平坦な膜を形成することのできる成膜装置を提供することにある。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
本発明の成膜装置は、ワーク上に膜を形成する成膜装置であって、内部が真空とすることが可能なチャンバと、前記チャンバ内に設けられ、前記ワークを円周の搬送経路で循環搬送する回転テーブルを有する搬送部と、前記膜を構成する材料からなるターゲットと、前記ターゲットと前記回転テーブルとの間に導入されたスパッタガスをプラズマ化するプラズマ発生器とを有し、プラズマにより前記ターゲットをスパッタリングして前記ワーク上に膜を形成する成膜処理部と、前記チャンバの内部空間に突出し、前記搬送経路に向かって開口する筒状体と、前記筒状体の開口を塞ぐように設けられた窓部材と、前記回転テーブルと前記筒状体との間に形成される処理空間に第１プロセスガスを導入する第１プロセスガス導入部と、前記窓部材を介して前記処理空間に電界を発生させるアンテナと、前記アンテナに高周波電圧を印加する電源と、を有し、前記第１プロセスガスをプラズマ化して前記処理空間に誘導結合プラズマを発生させ、前記膜を化学反応させる膜処理部と、一端に開口部が設けられ、前記開口部が前記搬送経路に向かうように前記チャンバに取り付けられた筒形電極と、前記筒形電極の内部に第２プロセスガスを導入する第２プロセスガス導入部と、前記チャンバと電気的に接続された前記回転テーブルと前記筒形電極とに接続され前記筒形電極に対して高周波電圧を印加する電源と、を有し、前記第２プロセスガスをプラズマ化して生成されたイオンを前記膜に照射するイオン照射部と、を備え、前記搬送部は、前記成膜処理部と前記膜処理部と前記イオン照射部とを通過するように前記ワークを循環搬送し、前記イオン照射部は、前記ワーク上の形成途中の前記膜にイオンを照射して、前記膜を平坦化すること、を特徴とする。
【発明の効果】
【０００７】
本発明によれば、光学特性の悪化を抑制した平坦な膜を形成することのできる成膜装置を得ることができる。
【図面の簡単な説明】
【０００８】
【図１】実施形態の成膜装置の構成を模式的に示す透視平面図である。
【図２】図１のＡ－Ａ断面図である。
【図３】図１のＢ－Ｂ断面図である。
【図４】実施形態に係る成膜装置による処理のフローチャートである。
【図５】実施形態に係る成膜装置によるワークの処理過程を示す模式図である。
【図６】透過電子顕微鏡（ＴＥＭ）により撮影した実施例１、２及び比較例１の断面画像であり、（ａ）は実施例１、（ｂ）は実施例２、（ｃ）は比較例１の断面画像である。
【図７】図６における実施例１、２及び比較例１の表層８層部分の拡大断面画像であり、（ａ）は実施例１、（ｂ）は実施例２、（ｃ）は比較例１の断面画像である。

【図８】実施例１、２及び比較例１の各層の最大高さＲｚを示すグラフである。
【図９】実施例１、２及び比較例１の各層の最大高さＲｚの標準偏差を示すグラフである。
【発明を実施するための形態】
【０００９】
（実施形態）
（構成）
本発明に係る成膜装置の実施形態について、図面を参照しつつ、詳細に説明する。図１は、本実施形態の成膜装置１００の構成を模式的に示す透視平面図である。この成膜装置１００は、ワーク１０上に膜を形成する装置である。ワーク１０は、ガラス基板又は樹脂基板である。成膜装置１００がワーク１０上に形成する膜は、複数の膜が積層された積層膜である。本実施形態では、当該膜は、光学膜となる積層膜であり、例えば、$SiO_2$膜と$Nb_2O_5$膜とを交互に積層してなる。
【００１０】
成膜装置１００は、チャンバ２０、搬送部３０、成膜処理部４０、膜処理部５０、イオン照射部６０、ロードロック部７０、及び制御装置８０を備える。
【００１１】
（チャンバ）
チャンバ２０は内部を真空とすることが可能な円柱形状の容器である。チャンバ２０内は区切部２２によって仕切られ、扇状に複数区画に分割されている。各区画には、成膜処理部４０、膜処理部５０、イオン照射部６０、ロードロック部７０の何れかが配置される。各部４０、５０、６０、７０は、搬送部３０による搬送方向（図１における反時計回り方向）に対して、成膜処理部４０、膜処理部５０、イオン照射部６０、ロードロック部７０の順に配置されている。膜処理部５０及びイオン照射部６０は隣接して設けられている。
【００１２】
図２に示すように、チャンバ２０は、円盤状の天井２０ａ、円盤状の内底面２０ｂ、及び環状の内周面２０ｃにより囲まれて形成されている。区切部２２は、円柱形状の中心から放射状に配設された方形の壁板であり、天井２０ａから内底面２０ｂに向けて延び、内底面２０ｂには未達である。即ち、内底面２０ｂ側には円柱状の空間が確保されている。この円柱状の空間には、ワーク１０を搬送する回転テーブル３１が配置されている。区切部２２の下端は、搬送部３０に載せられたワーク１０が通過する隙間を空けて、回転テーブル３１におけるワーク１０の載置面と対向している。この区切部２２によって、成膜処理部４０、膜処理部５０、及びイオン照射部６０においてワーク１０の処理が行われる処理空間が仕切られる。これにより、成膜処理部４０のスパッタガスＧ１、膜処理部５０のプロセスガス（第１プロセスガス）Ｇ２、及びイオン照射部６０のプロセスガス（第２プロセスガス）Ｇ３（図３参照）がチャンバ２０内に拡散することを抑制できる。
【００１３】
また、後述するように、成膜処理部４０、膜処理部５０、及びイオン照射部６０においては処理空間においてプラズマが生成されるが、チャンバ２０よりも小さい空間に仕切られた処理空間における圧力を調整すればよいため、圧力調整を容易に行うことができ、プラズマの放電を安定化させることができる。なお、チャンバ２０には排気口２１が設けられている。排気口２１には排気部９０が接続されている。排気部９０は配管及び図示しないポンプ、バルブ等を有する。排気口２１を通じた排気部９０による排気により、チャンバ２０内を減圧し、真空とすることができる。
【００１４】
（搬送部）
搬送部３０は、回転テーブル３１、モータ３２及び保持部３３を有し、ワーク１０を円周の軌跡である搬送経路Ｌに沿って循環搬送させる。すなわち、搬送部３０は、成膜処理部４０、膜処理部５０、イオン照射部６０を順に通過するようにワーク１０を循環搬送する。そのため、搬送部３０は、ワーク１０が成膜処理部４０とイオン照射部６０を交互に通過するようにワーク１０を搬送する。

【００１５】
回転テーブル３１は円盤形状を有し、内周面２０ｃと接触しない程度に大きく拡がっている。モータ３２は、回転テーブル３１の円中心を回転軸として連続的に所定の回転速度で回転させる。本実施形態では、モータ３２は、回転テーブル３１を図１に示すように反時計回りに回転させる。保持部３３は、回転テーブル３１の上面に円周等配位置に配設される溝、穴、突起、治具、ホルダ等であり、ワーク１０を載せたトレイ３４をメカチャック、粘着チャックによって保持する。ワーク１０は、例えばトレイ３４上にマトリクス状に整列配置され、保持部３３は、回転テーブル３１上に６０°間隔で６つ配設される。
【００１６】
（成膜処理部）
成膜処理部４０は、プラズマを生成し、成膜材料から構成されるターゲット４２を該プラズマに曝す。これにより、成膜処理部４０は、プラズマに含まれるイオンをターゲット４２に衝突させることで叩き出されたターゲット４２を構成する粒子をワーク１０上に堆積させて成膜を行う。図２に示すように、この成膜処理部４０は、ターゲット４２、バッキングプレート４３及び電極４４で構成されるスパッタ源と、電源部４６及びスパッタガス導入部４９とで構成されるプラズマ発生器を備える。
【００１７】
ターゲット４２は、ワーク１０上に堆積されて膜となる成膜材料で構成された板状の部材である。ターゲット４２はワーク１０上に形成する膜を構成する粒子の供給源となる。ターゲット４２は、回転テーブル３１に載置されたワーク１０の搬送経路Ｌに離隔して設けられている。ターゲット４２の表面は、回転テーブル３１に載置されたワーク１０に対向するように、チャンバ２０の天井２０ａに保持されている。ターゲット４２は例えば３つ設置される。３つのターゲット４２は、平面視で三角形の頂点上に並ぶ位置に設けられている。
【００１８】
バッキングプレート４３はターゲット４２を保持する支持部材である。このバッキングプレート４３は各ターゲット４２を個別に保持する。電極４４は、チャンバ２０の外部から各ターゲット４２に個別に電力を印加するための導電性の部材であり、ターゲット４２と電気的に接続されている。各ターゲット４２に印加する電力は、個別に変えることができる。その他、スパッタ源には、必要に応じてマグネット、冷却機構などが適宜具備されている。
【００１９】
電源部４６は、例えば、高電圧を印加するＤＣ電源であり、電極４４と電気的に接続されている。電源部４６は、電極４４を通じてターゲット４２に電力を印加する。なお、回転テーブル３１は、接地されたチャンバ２０と同電位であり、ターゲット４２側に高電圧を印加することにより、電位差が発生する。電源部４６としては、高周波スパッタを行うためにＲＦ電源とすることもできる。
【００２０】
スパッタガス導入部４９は、図２に示すように、チャンバ２０にスパッタガスＧ１を導入する。スパッタガス導入部４９は、図示しないボンベ等のスパッタガスＧ１の供給源と、配管４８と、ガス導入口４７を有する。
【００２１】
配管４８は、スパッタガスＧ１の供給源に接続されてチャンバ２０を気密に貫通してチャンバ２０の内部に延び、その端部がガス導入口４７として開口している。
【００２２】
ガス導入口４７は、回転テーブル３１とターゲット４２との間に開口し、回転テーブル３１とターゲット４２との間に形成された処理空間４１に成膜用のスパッタガスＧ１を導入する。スパッタガスＧ１としては不活性ガスが採用でき、アルゴンガス等が好適である。
【００２３】
このような成膜処理部４０では、スパッタガス導入部４９からスパッタガスＧ１を導入

し、電源部４６が電極４４を通じてターゲット４２に高電圧を印加すると、回転テーブル３１とターゲット４２との間に形成された処理空間４１に導入されたスパッタガスＧ１がプラズマ化し、イオン等の活性種が発生する。プラズマ中のイオンはターゲット４２と衝突してターゲット４２を構成する粒子（以下、ターゲット構成粒子ともいう。）を叩き出す。また、この処理空間４１を回転テーブル３１によって循環搬送されるワーク１０が通過する。叩き出されたターゲット構成粒子は、ワーク１０が処理空間４１を通過するときにワーク１０上に堆積して、ターゲット構成粒子からなる膜がワーク１０上に形成される。ワーク１０は、回転テーブル３１によって循環搬送され、この処理空間４１を繰り返し通過することで成膜処理が行われていく。成膜処理部４０を１回通過する度に堆積する膜の膜厚は、膜処理部５０の処理レートにも依るが、例えば１～２原子レベル（５ｎｍ以下）程度の薄膜であると良い。ワーク１０が複数回循環搬送されることで、膜の厚みが増し、ワーク１０上に所定の膜厚の膜が形成される。

【００２４】

成膜処理部４０のスパッタガスの圧力は、０．３Ｐａ以下とすることができ、当該圧力は、成膜処理部４０の処理空間４１に生じるプラズマが維持できる程度であれば、０．３Ｐａよりも下げることができる。

【００２５】

本実施形態では、成膜装置１００は、複数（ここでは２つ）の成膜処理部４０を備え、成膜処理部４０は、区切部２２によって区切られた２つの区画に設けられている。複数の成膜処理部４０は、成膜材料を選択的に堆積させることにより、複数の成膜材料の層からなる膜を形成する。特に、本実施形態では、異なる種類の成膜材料に対応するスパッタ源を含み、成膜材料を選択的に堆積させることにより、複数種類の成膜材料の層からなる膜を形成する。異なる種類の成膜材料に対応するスパッタ源を含むとは、すべての成膜処理部４０の成膜材料が異なる場合も、複数の成膜処理部４０で共通の成膜材料であるが、他がこれと異なる場合も含む。成膜材料を１種ずつ選択的に堆積させるとは、いずれか１種の成膜材料の成膜処理部４０が成膜を行う間、他の成膜材料の成膜処理部４０は成膜を行わないことをいう。

【００２６】

本実施形態では、一方の成膜処理部４０のターゲット４２は、シリコン（Ｓｉ）で構成され、他方の成膜処理部４０のターゲット４２は、ニオブ（Ｎｂ）で構成されている。シリコンの膜を形成している間は、ニオブの膜を形成せず、ニオブの膜を形成している間は、シリコンの膜を形成しない。２つの成膜処理部４０を区別するため、シリコン（Ｓｉ）で構成されるターゲット４２を有する成膜処理部４０を、成膜処理部４０ａとし、ニオブ（Ｎｂ）で構成されるターゲット４２を有する成膜処理部４０を、成膜処理部４０ｂとする。

【００２７】

（膜処理部）

膜処理部５０は、プロセスガスが導入された処理空間５９内で誘導結合プラズマを生成し、当該プラズマ中のイオンと成膜処理部４０によってワーク１０上に形成された膜とを化学反応させることで化合物膜を生成する。導入されるプロセスガスは、例えば、酸素又は窒素を含む。プロセスガスは、酸素ガス又は窒素ガスの他、アルゴンガス等の不活性ガスを含んでいても良い。プロセスガスが酸素を含む場合は、膜処理部５０は、ワーク１０上の膜を酸化させる。プロセスガスが窒素を含む場合は、膜処理部５０は、ワーク１０上の膜を窒化させる。本実施形態のプロセスガスは酸素である。膜処理部５０は、酸素ガスをプラズマ化し、当該プラズマ中のイオンと、ワーク１０上の最表面にあるシリコン膜又はニオブ膜と化学反応させ、$SiO_2$膜、$Nb_2O_5$膜を生成する。

【００２８】

膜処理部５０は、筒状体５１、窓部材５２、アンテナ５３、ＲＦ電源５４、マッチングボックス５５及びプロセスガス導入部５８により構成されるプラズマ発生器を有する。

【００２９】

筒状体５１は、図１と図２に示すように水平断面が角丸長方形状の筒であり、開口を有する。筒状体５１は、その開口が回転テーブル３１側に離隔して向かうように、チャンバ２０の天井２０ａに嵌め込まれ、チャンバ２０の内部空間に突き出る。この筒状体５１は、回転テーブル３１と同様の材質とする。窓部材５２は、筒状体５１の水平断面と略相似形の石英等の誘電体の平板である。この窓部材５２は、筒状体５１の開口を塞ぐように設けられ、チャンバ２０内の酸素ガスを含むプロセスガスＧ２が導入される処理空間５９と筒状体５１の内部とを仕切る。処理空間５９は、膜処理部５０において、回転テーブル３１と筒状体５１の内部との間に形成される空間である。この処理空間５９を回転テーブル３１によって循環搬送されるワーク１０が繰り返し通過することで酸化処理が行われる。なお、窓部材５２は、アルミナ等の誘電体であってもよいし、シリコン等の半導体であってもよい。

【００３０】

アンテナ５３は、コイル状に巻回された導電体であり、窓部材５２によってチャンバ２０内の処理空間５９とは隔離された筒状体５１内部空間に配置され、交流電流が流されることで電界を発生させる。アンテナ５３から発生させた電界が窓部材５２を介して処理空間５９に効率的に導入されるように、アンテナ５３は窓部材５２の近傍に配置されることが望ましい。アンテナ５３には、高周波電圧を印加するＲＦ電源５４が接続されている。ＲＦ電源５４の出力側には整合回路であるマッチングボックス５５が直列に接続されている。マッチングボックス５５は、入力側及び出力側のインピーダンスを整合させることで、プラズマの放電を安定化させる。

【００３１】

プロセスガス導入部５８は、図２に示すように、処理空間５９に酸素ガスを含むプロセスガスＧ２を導入する。プロセスガス導入部５８は、図示しないボンベ等のプロセスガスＧ２の供給源と、配管５７、ガス導入口５６を有する。

【００３２】

配管５７は、プロセスガスＧ２の供給源に接続されてチャンバ２０を気密に貫通してチャンバ２０の内部に延び、その端部がガス導入口５６として開口している。

【００３３】

ガス導入口５６は、窓部材５２と回転テーブル３１との間の処理空間５９に開口し、プロセスガスＧ２を導入する。

【００３４】

このような膜処理部５０では、ＲＦ電源５４からアンテナ５３に高周波電圧が印加される。これにより、アンテナ５３に高周波電流が流れ、電磁誘導による電界が発生する。電界は、窓部材５２を介して、処理空間５９に発生し、プロセスガスＧ２の誘導結合プラズマが発生する。このとき、酸素ガスもイオン化し、酸素イオンがワーク１０上の膜に衝突し、膜を構成する原子と結合する。その結果、ワーク１０上の膜は酸化され、化合物膜として酸化膜が形成される。

【００３５】

（イオン照射部）

イオン照射部６０は、対象物にイオンを照射する。イオン照射部６０は、プロセスガスをプラズマ化し、当該プラズマに含まれるイオンを対象物に照射する。対象物は、ワーク１０上の形成途中の膜である。ワーク１０上の形成途中の膜とは、ワーク１０上に形成する所望の膜厚の膜に至るまでの膜であり、具体的には、膜処理部５０による処理が行われたワーク１０上の化合物膜、又は、成膜処理部４０により形成されたワーク１０上の膜である。換言すれば、搬送部３０は、ワーク１０が成膜処理部４０と膜処理部５０とイオン照射部６０を通過するようにワーク１０を循環搬送することにより、イオン照射部６０が、膜処理部５０による処理が行われたワーク１０上の化合物膜にイオンを照射する。或いは、各部４０、５０、６０の搬送部３０による搬送方向において、成膜処理部４０、イオン照射部６０、膜処理部５０の順で配置されている場合には、搬送部３０は、ワーク１０が成膜処理部４０とイオン照射部６０と膜処理部５０を通過するようにワーク１０を循環

搬送することにより、イオン照射部６０が、成膜処理部４０により形成されたワーク１０上の膜にイオンを照射する。このイオン照射部６０は、筒形電極６１、シールド６４、ＲＦ電源６６及びプロセスガス導入部６５とで構成されるプラズマ発生器を備える。

【００３６】

このイオン照射部６０は、図３に示すように、チャンバ２０の上部から内部にかけて設けられた筒形電極６１を備えている。筒形電極６１は、角筒状であり、一端に開口部６１ａを有し、他端は閉塞されている。筒形電極６１は、開口部６１ａを有する一端が回転テーブル３１に向かうように、チャンバ２０の天面に設けられた開口２１ａに絶縁部材６２を介して取り付けられている。筒形電極６１の側壁はチャンバ２０の内部に延在している。

【００３７】

筒形電極６１の、開口部６１ａと反対端には、外方へ張り出すフランジ６１ｂが設けられている。絶縁部材６２が、フランジ６１ｂとチャンバ２０の開口２１ａの周縁との間に固定されることで、チャンバ２０の内部を気密に保っている。絶縁部材６２は絶縁性があればよく、特定の材料に限定されないが、例えば、ＰＴＦＥ（ポリテトラフルオロエチレン）等の材料から構成することができる。

【００３８】

筒形電極６１の開口部６１ａは、回転テーブル３１の搬送経路Ｌと向かい合う位置に配置される。回転テーブル３１は、搬送部３０として、ワーク１０を搭載したトレイ３４を搬送して開口部６１ａに対向する位置を通過させる。なお、回転テーブル３１の径方向におけるトレイ３４の大きさよりも、筒形電極６１の開口部６１ａの方が大きい。

【００３９】

図１に示すように、筒形電極６１は平面方向から見ると回転テーブル３１の半径方向における中心側から外側に向けて拡径する扇形になっている。ここでいう扇形とは、扇子の扇面の部分の形を意味する。筒形電極６１の開口部６１ａも、同様に扇形である。回転テーブル３１上のトレイ３４が開口部６１ａに対向する位置を通過する速度は、回転テーブル３１の半径方向において中心側に向かうほど遅くなり、外側へ向かうほど速くなる。そのため、開口部６１ａが単なる長方形又は正方形であると、半径方向における中心側と外側とでワーク１０が開口部６１ａに対向する位置を通過する時間に差が生じる。開口部６１ａを半径方向における中心側から外側に向けて拡径させることで、開口部６１ａを通過する時間を一定とすることができ、後述するプラズマ処理を均等にできる。ただし、通過する時間の差が製品上問題にならない程度であれば、長方形又は正方形でもよい。

【００４０】

上述したように、筒形電極６１はチャンバ２０の開口２１ａを貫通し、一部がチャンバ２０の外部に露出している。この筒形電極６１におけるチャンバ２０の外部に露出した部分は、図３に示すように、ハウジング６３に覆われている。ハウジング６３によってチャンバ２０の内部の空間が気密に保たれる。筒形電極６１のチャンバ２０の内部に位置する部分、すなわち側壁の周囲は、シールド６４によって覆われている。

【００４１】

シールド６４は、筒形電極６１と同軸の扇形の角筒であり、筒形電極６１よりも大きい。シールド６４はチャンバ２０に接続されている。具体的には、シールド６４はチャンバ２０の開口２１ａの縁から立設し、チャンバ２０の内部に向かって延びた端部は、筒形電極６１の開口部６１ａと同じ高さに位置する。シールド６４は、チャンバ２０と同様にカソードとして作用するので、電気抵抗の少ない導電性の金属部材で構成すると良い。シールド６４はチャンバ２０と一体的に成型しても良く、あるいはチャンバ２０に固定金具等を用いて取り付けても良い。

【００４２】

シールド６４は筒形電極６１内でプラズマを安定して発生させるために設けられている。シールド６４の各側壁は、筒形電極６１の各側壁と所定の隙間を介して略平行に延びるように設けられる。隙間が大きくなりすぎると静電容量が小さくなったり、筒形電極６１内で発生したプラズマが隙間に入り込んだりしてしまうため、隙間はできるだけ小さいこ

とが望ましい。ただし、隙間が小さくなり過ぎても、筒形電極６１とシールド６４との間の静電容量が大きくなってしまうため好ましくない。隙間の大きさは、プラズマの発生に必要とされる静電容量に応じて適宜設定すると良い。なお、図３は、シールド６４及び筒形電極６１の半径方向に延びる２つの側壁面しか図示していないが、シールド６４及び筒形電極６１の周方向に延びる２つの側壁面の間も、半径方向の側壁面と同じ大きさの隙間が設けられている。

【００４３】

また、筒形電極６１にはプロセスガス導入部６５が接続されている。プロセスガス導入部６５は、配管の他、図示しないプロセスガスＧ３のガス供給源、ポンプ、バルブ等を有する。このプロセスガス導入部６５によって、筒形電極６１内にプロセスガスＧ３が導入される。プロセスガスＧ３は、処理の目的によって適宜変更可能である。例えば、プロセスガスＧ３は、アルゴンガス、酸素ガス若しくは窒素ガス、又は、アルゴンガスに加えて酸素ガス若しくは窒素ガスを含んでいても良い。

【００４４】

筒形電極６１には、高周波電圧を印加するためのＲＦ電源６６が接続されている。ＲＦ電源６６の出力側には整合回路であるマッチングボックス６７が直列に接続されている。ＲＦ電源６６はチャンバ２０にも接続されている。ＲＦ電源６６から電圧を印加すると、筒形電極６１がアノードとして作用し、チャンバ２０、シールド６４、回転テーブル３１、及びトレイ３４がカソードとして作用する。つまり、逆スパッタのための電極として機能する。このため、上記のように、回転テーブル３１、及びトレイ３４は導電性を有し、電気的に接続されるように接触している。

【００４５】

マッチングボックス６７は、入力側及び出力側のインピーダンスを整合させることで、プラズマの放電を安定化させる。なお、チャンバ２０や回転テーブル３１は接地されている。チャンバ２０に接続されるシールド６４も接地される。ＲＦ電源６６及びプロセスガス導入部６５はともに、ハウジング６３に設けられた貫通孔を介して筒形電極６１に接続する。

【００４６】

プロセスガス導入部６５から筒形電極６１内にプロセスガスＧ３であるアルゴンガスを導入し、ＲＦ電源６６から筒形電極６１に高周波電圧を印加すると、容量結合プラズマが発生し、アルゴンガスがプラズマ化され、電子、イオン及びラジカル等が発生する。この発生させたプラズマ中のイオンをワーク１０上の形成途中の膜に照射する。

【００４７】

すなわち、イオン照射部６０は、一端に開口部６１ａが設けられ、内部にプロセスガスＧ３が導入される筒形電極６１と、筒形電極６１に対して高周波電圧を印加するＲＦ電源６６と、を有し、搬送部３０が開口部６１ａの直下にワーク１０を搬送して通過させることで、ワーク１０上に形成された膜に対してイオンを引き込み、イオン照射が行われる。イオン照射部６０では、ワーク１０上に形成された膜にイオンを引き込むために、ワーク１０が載置されるトレイ３４と回転テーブル３１に負のバイアス電圧が印加される。

【００４８】

イオン照射部６０のような筒形電極６１を用いることで、トレイ３４や回転テーブル３１には高周波電圧を印加しなくとも、これらの部材はアース電位のまま、ワーク１０が載置されるトレイ３４と回転テーブル３１に所望の負のバイアス電圧を印加して、成膜された薄膜にイオンを引き込むことが可能となる。これにより、トレイ３４や回転テーブル３１に高周波電圧を印加する構造を追加したり、所望のバイアス電圧を得るために、アノードとなる電極の面積とカソードとなる電極を取り囲む他の部材の面積比を考慮したりする必要がなくなり、装置設計が容易となる。

【００４９】

このため、ワーク１０上の形成途中の膜を平坦化するために、ワーク１０を移動させながら成膜とイオン照射を繰り返し行う場合であっても、簡易な構造で、ワーク１０上に形

成された膜にイオンを引き込むことができる。
【００５０】
このように、膜処理部５０は、酸素ガスまたは窒素ガスをプラズマ化してイオンを生成し、ワーク１０上に形成された膜と化学反応させることで、化合物膜を生成する機能を有する。膜処理部５０では、プラズマ密度の高い誘導結合プラズマを利用することで、当該プラズマ中のイオンと成膜処理部４０によってワーク１０上に形成された膜とを効率的に化学反応させることで化合物膜を生成することが可能である。
【００５１】
イオン照射部６０は、ワーク１０が載置されるトレイ３４と回転テーブル３１に負のバイアス電圧を印加して、ワーク１０上に形成された膜にイオンを引き込み、薄膜を平坦化する機能を有する。イオン照射部６０では、筒形電極６１を利用することで、簡易にワーク１０上に形成された膜にイオンを引き込み、平坦化を行うことが可能である。
【００５２】
（ロードロック部）
ロードロック部７０は、チャンバ２０の真空を維持した状態で、図示しない搬送手段によって、外部から未処理のワーク１０を搭載したトレイ３４を、チャンバ２０内に搬入し、処理済みのワーク１０を搭載したトレイ３４をチャンバ２０の外部へ排出する装置である。このロードロック部７０は、周知の構造のものを適用することができるため、説明を省略する。
【００５３】
（制御装置）
制御装置８０は、排気部９０、スパッタガス導入部４９、プロセスガス導入部５８、６５、電源部４６、ＲＦ電源５４、６６、搬送部３０など、成膜装置１００を構成する各種要素を制御する。この制御装置８０は、ＰＬＣ（Ｐｒｏｇｒａｍｍａｂｌｅ Ｌｏｇｉｃ Ｃｏｎｔｒｏｌｌｅｒ）や、ＣＰＵ（Ｃｅｎｔｒａｌ Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ Ｕｎｉｔ）を含む処理装置であり、制御内容を記述したプログラムが記憶されている。具体的に制御される内容としては、成膜装置１００の初期排気圧力、ターゲット４２及びアンテナ５３への印加電力、スパッタガスＧ１及びプロセスガスＧ２、Ｇ３の流量、導入時間及び排気時間、成膜時間、モータ３２の回転速度などが挙げられる。なお、制御装置８０は、多種多様な成膜仕様に対応可能である。
【００５４】
（動作）
次に、制御装置８０により制御された成膜装置１００の全体動作を説明する。図４は、本実施形態に係る成膜装置１００による処理のフローチャートである。まず、搬送手段によって、ワーク１０を搭載したトレイ３４がロードロック部７０からチャンバ２０内に順次搬入される（ステップＳ０１）。ステップＳ０１においては、回転テーブル３１は、空の保持部３３を、順次、ロードロック部７０からの搬入箇所に移動させる。保持部３３は、搬送手段により搬入されたトレイ３４を、それぞれ個別に保持する。このようにして、成膜されるワーク１０を搭載したトレイ３４が、回転テーブル３１上に全て載置される。
【００５５】
チャンバ２０内は、排気部９０によって排気口２１から排気されて常に減圧されている。チャンバ２０内が所定の圧力まで減圧される（ステップＳ０２）。そして、ワーク１０を載せた回転テーブル３１が回転して、所定の回転速度に達する（ステップＳ０３）。
【００５６】
回転テーブル３１の回転が所定の回転速度に達すると、まず成膜処理部４０ａが稼働を開始し、ワーク１０上にシリコン膜を成膜する（ステップＳ０４）。即ち、スパッタガス導入部４９が、ガス導入口４７を通じてスパッタガスＧ１を供給する。スパッタガスＧ１は、シリコン材料から構成されたターゲット４２の周囲に供給される。電源部４６はターゲット４２に電圧を印加する。これにより、スパッタガスＧ１をプラズマ化させる。プラズマにより発生したイオンは、ターゲット４２に衝突してシリコンの粒子を叩き出す。成

膜処理部４０ａを通過するワーク１０の表面には、その通過毎にシリコン粒子が堆積して、シリコン膜が成膜される。

【００５７】

回転テーブル３１の回転により成膜処理部４０ａを通過し、シリコン膜が成膜されたワーク１０は、膜処理部５０に向かい、膜処理部５０にてシリコン膜が酸化される（ステップＳ０５）。即ち、プロセスガス導入部５８がガス導入口５６を通じて酸素ガスを含むプロセスガスＧ２を供給する。酸素ガスを含むプロセスガスＧ２は、窓部材５２と回転テーブル３１に挟まれた処理空間５９に供給される。ＲＦ電源５４はアンテナ５３に高周波電圧を印加する。高周波電圧の印加により高周波電流が流れたアンテナ５３が発生させた電界は、窓部材５２を介して、処理空間５９に発生し、この空間に供給された酸素ガスを含むプロセスガスＧ２を励起させてプラズマを発生させる。更にプラズマによって発生した酸素イオンは、ワーク１０上に成膜されたシリコン膜に衝突することにより、シリコンと結合し、ワーク１０上のシリコン膜は$SiO_2$膜に変換される。

【００５８】

回転テーブル３１の回転により膜処理部５０を通過し、$SiO_2$膜が成膜されたワーク１０は、イオン照射部６０に向かい、イオン照射部６０にて$SiO_2$膜にイオンが照射される（ステップＳ０６）。すなわち、プロセスガス導入部６５が配管を通じてアルゴンガスを含むプロセスガスＧ３を供給する。このプロセスガスＧ３は、筒形電極６１と回転テーブル３１に囲まれた筒形電極６１内の空間に供給される。ＲＦ電源６６により筒形電極６１に電圧を印加すると、筒形電極６１がアノードとして作用し、チャンバ２０、シールド６４、回転テーブル３１、及びトレイ３４がカソードとして作用し、筒形電極６１内の空間に供給されたプロセスガスＧ３を励起させてプラズマを発生させる。更にプラズマによって発生したアルゴンイオンは、ワーク１０上に成膜された$SiO_2$膜に衝突することにより、当該膜における疎の部分に粒子を移動させて、膜表面を平らにする。

【００５９】

このように、ステップＳ０４～Ｓ０６では、稼働している成膜処理部４０ａの処理空間４１をワーク１０が通過することで成膜処理が行われ、稼働している膜処理部５０の処理空間５９をワーク１０が通過することで酸化処理が行われる。そして、稼働しているイオン照射部６０の筒形電極６１内の空間をワーク１０が通過することで、ワーク１０上に形成された$SiO_2$膜が平坦化される。なお、「稼働している」とは、各部４０ａ、５０、６０の処理空間においてプラズマを発生させるプラズマ生成動作が行われていることと同義とする。

【００６０】

なお、膜処理部５０の稼働は、成膜処理部４０ａで最初の成膜が行われたワーク１０が膜処理部５０に到達するまでの間に開始すれば良い。また、イオン照射部６０の稼働は、膜処理部５０で酸化処理が行われたワーク１０がイオン照射部６０に到達するまでに開始すれば良い。

【００６１】

回転テーブル３１は、所定の厚みの$SiO_2$膜がワーク１０上に形成されるまで、すなわちシミュレーションや実験などで予め得られた所定の時間が経過するまで（ステップＳ０７のＮＯ）、回転を継続する。換言すると、所定の厚みの$SiO_2$膜が形成されるまでの間、ワーク１０は搬送部３０により成膜処理部４０ａ、膜処理部５０、イオン照射部６０を順に循環し続け、ワーク１０上にシリコン粒子を堆積させる成膜処理（ステップＳ０４）と、堆積させたシリコン粒子を酸化させる酸化処理（ステップＳ０５）と、生成された$SiO_2$膜をイオン照射により平坦化する平坦化処理（ステップＳ０６）とを順次繰り返される。

【００６２】

所定の時間が経過したら（ステップＳ０７のＹＥＳ）、成膜処理部４０ａの稼働を停止する（ステップＳ０８）。具体的には、スパッタガス導入部４９によるスパッタガスＧ１の導入を停止し、電源部４６によるターゲット４２への電圧印加を停止する。なお、成膜

処理部４０ａを停止したとき、膜処理部５０、イオン照射部６０の稼働も停止し、次に成膜が行われる成膜処理部４０ｂにおいて最初の成膜が行われたワーク１０が膜処理部５０、イオン照射部６０に到達するまでの間に稼働を再開してもよい。また、成膜処理部４０ａの稼働が停止しても、膜処理部５０、イオン照射部６０の稼働を停止させないようにしてもよい。この場合、膜処理部５０、イオン照射部６０は、成膜処理部４０ａと成膜処理部４０ｂの稼働が停止するまで、稼働していることになる。

【００６３】

次に、成膜処理部４０ｂが稼働を開始し、平坦化した$SiO_2$膜上にニオブ膜を成膜する（ステップＳ０９）。すなわち、スパッタガス導入部４９が、ガス導入口４７を通じてスパッタガスＧ１を供給する。スパッタガスＧ１は、ニオブ材料から構成されたターゲット４２の周囲に供給される。電源部４６はターゲット４２に電圧を印加する。これにより、スパッタガスＧ１をプラズマ化させる。プラズマにより発生したイオンは、ターゲット４２に衝突してニオブ粒子を叩き出す。成膜処理部４０ｂを通過するワーク１０の表面には、その通過毎にニオブ粒子が堆積して、ニオブ膜が成膜される。

【００６４】

回転テーブル３１の回転により成膜処理部４０ｂを通過し、ニオブ膜が成膜されたワーク１０は、膜処理部５０に向かい、膜処理部５０にてニオブ膜が酸化される（ステップＳ１０）。即ち、ステップＳ０５と同様に、プロセスガス導入部５８により酸素ガスを含むプロセスガスＧ２を処理空間５９に供給し、ＲＦ電源５４によりアンテナ５３に高周波電圧を印加することにより、処理空間５９にプラズマを発生させる。このプラズマによって発生した酸素イオンがワーク１０上に成膜されたニオブ膜に衝突することにより、ニオブと結合し、ワーク１０上のニオブ膜は$Nb_2O_5$膜に変換される。

【００６５】

回転テーブル３１の回転により膜処理部５０を通過し、$Nb_2O_5$膜が成膜されたワーク１０は、イオン照射部６０に向かい、イオン照射部６０にて$Nb_2O_5$膜にイオンが照射される（ステップＳ１１）。すなわち、ステップＳ０６と同様に、プロセスガス導入部６５によりアルゴンガスを含むプロセスガスＧ３を、筒形電極６１と回転テーブル３１に囲まれた処理空間に供給し、ＲＦ電源６６により筒形電極６１に電圧を印加することにより、当該処理空間に供給されたプロセスガスＧ３を励起させてプラズマを発生させる。更にプラズマによって発生したアルゴンイオンは、ワーク１０上に成膜された$Nb_2O_5$膜に衝突することにより、当該膜における疎の部分に粒子を移動させて、膜表面を平らにする。

【００６６】

回転テーブル３１は、所定の厚みの$Nb_2O_5$膜がワーク１０上に形成されるまで、すなわちシミュレーションや実験などで予め得られた所定の時間が経過するまで（ステップＳ１２のＮＯ）、回転を継続する。換言すると、所定の厚みの$Nb_2O_5$膜が形成されるまでの間、ワーク１０は搬送部３０により成膜処理部４０ｂ、膜処理部５０、イオン照射部６０を順に循環し続け、ワーク１０上にニオブ粒子を堆積させる成膜処理（ステップＳ０９）と、堆積させたニオブ粒子を酸化させる酸化処理（ステップＳ１０）と、生成された$Nb_2O_5$膜をイオン照射により平坦化する平坦化処理（ステップＳ１１）とが順次繰り返される。

【００６７】

所定の時間が経過したら（ステップＳ１２のＹＥＳ）、成膜処理部４０ｂの稼働を停止する（ステップＳ１３）。具体的には、スパッタガス導入部４９によるスパッタガスＧ１の導入を停止し、電源部４６によるターゲット４２への電圧印加を停止する。

【００６８】

このように、ワーク１０上に$SiO_2$膜１１と$Nb_2O_5$膜１２とを、例えば図５に示すように、各膜が所定の数に至るまでステップＳ０４～Ｓ１３を繰り返すことで、交互に積層する。

【００６９】

所定の数の$SiO_2$膜と$Nb_2O_5$膜とを形成したら、成膜処理部４０、膜処理部５０、イオン照射部６０の稼働を停止する（ステップＳ１５）。すなわち、スパッタガスＧ１の導入、プロセスガスＧ２、Ｇ３の導入、及び、電源部４６、ＲＦ電源５４、６６による電圧印加を停止する。そして、回転テーブル３１の回転を停止させ、ロードロック部７０からワーク１０が載せられたトレイ３４を排出する（ステップＳ１６）。

【００７０】

（作用）

以上のように、成膜装置１００は、搬送部３０により、ワーク１０が成膜処理部４０、膜処理部５０、イオン照射部６０を通過するように当該ワーク１０を循環搬送するので、$SiO_2$膜及び$Nb_2O_5$膜をそれぞれ所定の厚みに至るまでに、イオン照射部６０により形成途中の膜にイオンが照射され、当該膜の凹凸が緩和されるので、平坦な膜を積層することができる。

【００７１】

すなわち、複数の膜が積み重なってなる積層膜の形成においては、膜中の粒子が疎の部分と密な部分が生じ、膜に凹凸が生じるが、本実施形態では、膜の形成途中でイオン照射部６０により凹凸のある当該膜にイオンを照射することで、当該膜中の疎の部分に粒子を移動させて、膜を平坦化するので、凹凸のない又は少ない平坦で緻密な膜を形成することができる。さらに、当該膜の上に他の種類の膜を形成する場合でも同様に、膜の形成途中でイオン照射部６０により凹凸のある当該膜にイオンを照射することで、当該膜中の疎の部分に粒子を移動させて、膜を平坦化するので、凹凸のない又は少ない平坦で緻密な膜を形成することができる。

【００７２】

（効果）

（１）本実施形態の成膜装置１００は、ワーク１０上に膜を形成する成膜装置であって、ワーク１０を循環搬送する回転テーブル３１を有する搬送部３０と、膜を構成する材料からなるターゲット４２と、ターゲット４２と回転テーブル３１との間に導入されたスパッタガスをプラズマ化するプラズマ発生器とを有し、プラズマによりターゲット４２をスパッタリングしてワーク１０上に膜を形成する成膜処理部４０と、イオンを照射するイオン照射部６０と、を備え、搬送部３０は、ワーク１０が膜の形成途中で成膜処理部４０とイオン照射部６０とを通過するように搬送し、イオン照射部６０は、ワーク１０上の形成途中の膜にイオンを照射するようにした。

【００７３】

これにより、平坦な膜を形成することができる。すなわち、スパッタリングの手法を用いた成膜処理部４０による成膜は、ワーク１０上の特定の箇所にターゲット４２から叩き出された粒子が堆積しやすく、形成される膜に凹凸が生じやすい。これに対し、イオン照射部６０によってワーク１０上の形成途中の膜にイオンを照射することにより、膜から出っ張った部分にイオンが衝突し、当該部分が崩れ、崩れた部分が周囲の凹んだ部分に収まることで膜を平坦化することができる。そして、平坦化した膜の上にさらに成膜処理部４０により膜が形成され、イオン照射により平坦化されるので、所定の膜厚の膜を形成した後にその表面のみを平坦化する場合と比べて、平坦度を高くすることができる。

【００７４】

なお、スパッタリングにより形成した膜の表面に生じる凹凸を抑制するためには、ワークを加熱しながら成膜処理を行うことによって、ワークの表面のスパッタ粒子に熱エネルギーを与えて、スパッタ粒子の疎の部分に移動させて平坦にする方式がある。しかし、回転テーブルの回転によりワークを循環搬送させて、スパッタリングにより成膜する成膜ユニットの直下を繰り返し通過させる方式の成膜装置においては、回転テーブル上のワークを加熱するためには、回転テーブル全体を加熱することが必要となり、大きなエネルギーを必要とするとともに、成膜装置の構成が複雑になる。これに対し、本実施形態では、搬送部３０により、膜の形成途中で成膜処理部４０とイオン照射部６０とを通過するようにワーク１０を搬送し、イオン照射部６０により、ワーク１０上の形成途中の膜にイオン照

射するようにしたので、ワーク１０を加熱しなくても膜を平坦化することができ、装置構成の複雑化を防止できるとともに、省エネルギー化を図ることができる。

【００７５】

また、本実施形態は、ワーク１０上に膜を形成する成膜装置１００であって、内部が真空とすることが可能なチャンバ２０と、チャンバ内に設けられ、ワーク１０を円周の搬送経路で循環搬送する回転テーブル３１を有する搬送部３０と、膜を構成する材料からなるターゲット４２と、ターゲット４２と回転テーブル３１との間に導入されたスパッタガスＧ１をプラズマ化するプラズマ発生器とを有し、プラズマによりターゲット４２をスパッタリングしてワーク１０上に膜を形成する成膜処理部４０と、チャンバ２０の内部空間に突出し、搬送経路に向かって開口する筒状体５１と、筒状体の開口を塞ぐように設けられた窓部材５２と、回転テーブル３１と筒状体５１との間に形成される処理空間５９に第１プロセスガス（プロセスガスＧ２）を導入する第１プロセスガス導入部（プロセスガス導入部５８）と、窓部材５２を介して処理空間５９に電界を発生させるアンテナ５３と、アンテナ５３に高周波電圧を印加する電源（ＲＦ電源５４）と、を有し、第１プロセスガスＧ２をプラズマ化して処理空間５９に誘導結合プラズマを発生させ、膜を化学反応させる膜処理部５０と、一端に開口部６１ａが設けられ、開口部６１ａが搬送経路に向かうようにチャンバ２０に取り付けられた筒形電極６１と、筒形電極６１の内部に第２プロセスガス（プロセスガスＧ３）を導入する第２プロセスガス導入部（プロセスガス導入部６５）と、筒形電極６１に対して高周波電圧を印加するＲＦ電源６６と、を有し、第２プロセスガスＧ３をプラズマ化して生成されたイオンを膜に照射するイオン照射部６０を備え、搬送部３０は、成膜処理部４０と膜処理部５０とイオン照射部６０とを通過するようにワーク１０を循環搬送し、イオン照射部６０は、ワーク１０上の形成途中の膜にイオンを照射するようにした。

【００７６】

これにより、成膜処理部４０によって成膜された膜を、膜処理部５０によって化学反応させ、イオン照射部６０によって平坦化させることができる。そして、イオン照射部６０が、第２プロセスガスＧ３を導入する第２プロセスガス導入部と、一端に開口部６１ａが設けられ、内部に第２プロセスガスＧ３が導入される筒形電極６１と、筒形電極６１に対して高周波電圧を印加する電源（ＲＦ電源６６）とを有することによって、循環搬送によって移動するワーク１０であっても容易に負のバイアス電圧をかけられる。これにより、ワーク１０にイオンを引き込むことが可能となり、効率よくワーク１０上の膜を平坦化できる。一方、膜処理部５０では、イオン照射部６０で生成されるプラズマよりもプラズマ密度の高い誘導結合プラズマによってワーク１０上の膜を化合物膜に効率よく変換することができる。

【００７７】

このように、本実施形態の成膜装置１００においては、膜処理部５０とイオン照射部６０を別の構成部として分離し、かつ、成膜処理部４０、膜処理部５０、イオン照射部６０を循環搬送してワーク１０を通過させることで、ワーク１０上で、原子レベルでの膜厚での成膜、化合物膜への変換、平坦化の処理を繰り返し行うことができる。これにより、例えば酸化膜が含まれる光学膜を成膜する場合は、平坦度が高く酸化効率の高い膜を積層することが可能となり、光学特性の高い光学膜を形成することができる。

【００７８】

（２）搬送部３０は、ワーク１０が成膜処理部４０とイオン照射部６０とを交互に通過するように搬送するようにした。これにより、平坦化した膜の上に更に膜を形成して所定の厚みの膜を形成するので、より平坦な膜を形成することができる。

【００７９】

（３）プロセスガスＧ２を導入するプロセスガス導入部５８と、プロセスガスをプラズマ化するプラズマ発生器とを有し、成膜処理部４０により形成された膜を化学反応させる膜処理部５０を備え、搬送部３０は、ワーク１０が膜処理部５０を通過した後、イオン照射部６０を通過するように搬送するようにした。これにより、ワーク１０上に生成された

化合物膜を平坦にすることができる。
【００８０】
（４）プロセスガスＧ２は、酸素又は窒素を含むようにした。これにより、ワーク１０上に堆積した膜を酸化又は窒化することができる。
【００８１】
（５）成膜処理部４０のスパッタガスの圧力を０．３Ｐａ以下とした。これにより、ターゲット４２から叩き出されたターゲット構成粒子がスパッタガス中の原子、イオンなどの構成粒子と衝突することによる、ターゲット構成粒子の運動エネルギーの減少が小さくなるので、ターゲット構成粒子が比較的大きな運動エネルギーを持ったまま、ワーク１０又はその表面の膜に到達し、当該ワーク１０又はその表面の膜上を移動する現象が生じる結果、膜の凹んだ部分にターゲット構成粒子が収まり、膜を平坦にすることができる。
【００８２】
（６）本実施形態の成膜装置１００は、複数の成膜処理部４０を備え、複数の成膜処理部４０は、ワーク１０上に異なる組成の膜を交互に積層させて形成するようにした。これにより、膜表面での光の乱反射が抑制された光学特性が良好な光学膜を有する光学機器を得ることができる。
【００８３】
（７）イオン照射部６０は、プロセスガス（第２プロセスガス）Ｇ３を導入するプロセスガス導入部６５と、プロセスガスＧ３をプラズマ化するプラズマ発生器とを有し、プラズマ発生器により生成されたプラズマ中のイオンを膜に照射するようにした。また、プロセスガスＧ３は、アルゴンを含むようにした。これにより、原子サイズの大きなアルゴンイオンをワーク１０上に堆積した粒子の集合である膜に衝突させることにより、粒子が密な部分である膜の凸部を崩し、その崩した粒子を疎の部分である膜の凹部に収めやすくなり、膜を平坦化しやすくすることができる。
【００８４】
（８）プロセスガス（第２プロセスガス）Ｇ３は、酸素若しくは窒素、又は、アルゴンと酸素若しくは窒素を含むようにした。これにより、膜処理部５０による酸化又は窒化が不十分だった場合に、イオン照射部６０で酸素イオン又は窒素イオンと膜とが化学反応して酸化又は窒化することで、反応を補うことができる。例えば、イオン照射部６０よりも先に膜処理部５０をワーク１０が通過する場合、膜処理部５０において酸化又は窒化が不十分であっても、次に通過するイオン照射部６０において酸素イオン又は窒素イオンと膜とが化学反応して酸化又は窒化することで、反応を補うことができる。また、プロセスガス（第２プロセスガス）Ｇ３にアルゴンが含まれている場合、アルゴンイオンの衝突によって、酸化又は窒化した膜から酸素原子、窒素原子が分離し、膜の酸化又は窒化が不十分な状況になる場合がある。その場合でも、酸素イオン又は窒素イオンと膜とが再度化学反応して酸化又は窒化することで、反応を補うことができる。例えば、イオン照射部６０よりも先に膜処理部５０をワーク１０が通過する場合、膜処理部５０において酸化又は窒化が行われていても、イオン照射部６０におけるアルゴンイオンの衝突によって、酸化又は窒化した酸素原子、窒素原子が分離し、酸化又は窒化が不十分な状況になる場合がある。その場合でも、イオン照射部６０において、酸素イオン又は窒素イオンと膜とが再度化学反応して酸化又は窒化することで、反応を補うことができる。
【００８５】
（実施例）
本実施形態の成膜装置１００により、表１の記載の条件で、ワーク１０上に、$SiO_2$膜と$Nb_2O_5$膜を交互に計２２層の積層膜を成膜してなるコールドミラーを作製した。なお、表１中の「成膜処理部」における「ターゲット印加電力（Ｗ）」の数値範囲は、３つのターゲット４２それぞれに供給する電力の範囲を示している。

【表１】

| | | 条件名 | 比較例1（成膜＋酸化） | 実施例1（成膜＋酸化＋イオン照射） | 実施例2（成膜（低圧）＋酸化＋イオン照射） |
|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 成膜処理部 | ターゲット印加電力（W） | 1000～3000 | 1000～3000 | 1000～3000 |
| | | Ar 流量（sccm） | 80 | 80 | 50 |
| | 膜処理部 | 印加RF電力（W） | 2000 | 2000 | 2000 |
| | | $O_2$ 流量（sccm） | 40 | 40 | 40 |
| | イオン照射部 | 印加RF電力（W） | 0 | 500 | 500 |
| | | Ar 流量（sccm） | 0 | 40 | 40 |
| $Nb_2O_5$ | 成膜処理部 | ターゲット印加電力（W） | 500～2000 | 500～2000 | 500～2000 |
| | | Ar 流量（sccm） | 80 | 80 | 50 |
| | 膜処理部 | 印加RF電力（W） | 3000 | 3000 | 3000 |
| | | $O_2$ 流量（sccm） | 120 | 120 | 120 |
| | イオン照射部 | 印加RF電力（W） | 0 | 500 | 500 |
| | | Ar 流量（sccm） | 0 | 40 | 40 |
| 回転テーブルの回転速度（rpm） | | | 60 | 60 | 60 |

【００８６】
実施例１のコールドミラーは、各層の膜を、膜処理部５０により酸化させた後、当該膜をイオン照射部６０によりイオン照射することにより作製したものである。実施例２のコールドミラーは、成膜処理部４０へのスパッタガスＧ１の供給流量を５０ｓｃｃｍとして実施例１の場合より減らしたこと以外は実施例１と同じ条件で作製したものである。換言すれば、成膜処理部４０におけるスパッタガスの圧力は、実施例１が０．５Ｐａ、実施例２が０．３Ｐａである。比較例１のコールドミラーは、実施例１と比べてイオン照射部６０によるイオン照射を行わずに作製したものである。
【００８７】
実施例１、２及び比較例１の断面全体及びその表層８層部分を、株式会社日立ハイテクノロジーズ製のＨ－９５００の透過電子顕微鏡（ＴＥＭ）を用いて、加速電圧を２００ｋＶとして撮影し、断面画像を得た。
【００８８】
図６は、透過電子顕微鏡（ＴＥＭ）により撮影した実施例１、２及び比較例１の断面画像であり、（ａ）は実施例１、（ｂ）は実施例２、（ｃ）は比較例１の断面画像である。図７は、図６における実施例１、２及び比較例１の表層８層部分の拡大断面画像であり、（ａ）は実施例１、（ｂ）は実施例２、（ｃ）は比較例１の断面画像である。
【００８９】
図８は、実施例１、２及び比較例１の各層の最大高さＲｚを示すグラフである。図９は、実施例１、２及び比較例１の各層の最大高さＲｚの標準偏差を示すグラフである。図８及び図９の「最大高さ」とは、各層において最もワーク１０に近い部分を基準とした、最もワーク１０の表面に近い出っ張った部分の高さである。
【００９０】
図６（ａ）及び図７（ａ）と図６（ｃ）及び図７（ｃ）に示すように、実施例１は、比較例１と比べると、各層の膜が平坦になっていることが見て取れる。また、図８及び図９に示すように、実施例１は、比較例１と比べて各層の最大高さＲｚの平均が３８％小さくなり、各層の標準偏差の平均は４０％小さくなっていることから、各層の膜が平坦になっていることが分かる。このように、実施例１と比較例１の違いは、膜に対するイオン照射の有無による違いであるから、図６～図９に示すように、視覚の面からも数字の面からもイオン照射によって膜を平坦化する効果を確認することができる。
【００９１】
また、図６（ａ）及び図７（ａ）と図６（ｂ）及び図７（ｂ）に示すように、実施例２は、実施例１と比べると、各層の膜が更に平坦になっていることが見て取れる。また、図８及び図９に示すように、実施例２は、実施例１と比べて各層の最大高さＲｚの平均が５６％小さくなり、各層の標準偏差の平均は６３％小さくなっていることから、各層の膜が平坦になっていることが分かる。このように、実施例２と実施例１の違いは、成膜処理部４０に供給するスパッタガスの流量の違い、すなわち、スパッタガスの圧力の違いである

から、図６～図９に示すように、視覚の面からも数字の面からも成膜雰囲気を低圧にしたことによって膜を更に平坦化する効果を確認することができる。

【００９２】

なお、実施例１、２及び比較例１は、２２層を有する積層膜を有するが、図８及び図９において、第１層目の最大高さＲｚ及び標準偏差に注目すると、実施例１、２は比較例１と比べて最大高さＲｚ及び標準偏差の何れも小さい値となっていることから、積層膜の形成だけでなく、単層膜の形成においてもイオン照射による膜の平坦化の効果が得られることが確認することができる。

【００９３】

（他の実施形態）

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、下記に示す他の実施形態も包含する。また、本発明は、上記実施形態及び下記の他の実施形態を全て又はいずれかを組み合わせた形態も包含する。さらに、これらの実施形態を発明の範囲を逸脱しない範囲で、種々の省略や置き換え、変更を行うことができ、その変形も本発明に含まれる。

【００９４】

（１）上記実施形態では、図１に示すように、回転テーブル３１は平面視して反時計回りに回転するようにしたが、成膜処理部４０による成膜を行ってから、再度成膜処理部４０により成膜を行うまでにイオン照射部６０により形成途中の膜にイオン照射するのであれば、時計回りに回転させるようにしても良い。すなわち、搬送部３０は、二方向の循環搬送が可能に構成され、膜処理部５０とイオン照射部６０とは隣接して設けるようにしても良い。これにより、膜処理部５０による化学反応とイオン照射部６０による膜の平坦化処理との順序を入れ替え可能にすることができる。

【００９５】

（２）上記実施形態では、搬送部３０によって、ワーク１０を成膜処理部４０、膜処理部５０、イオン照射部６０の順に循環搬送したが、上記実施形態と同じ回転方向（反時計回り）のまま、膜処理部５０とイオン照射部６０の配置の順序を逆にし、成膜処理部４０、イオン照射部６０、膜処理部５０の順に循環搬送するようにしても良い。前者の場合、上記実施形態の通り、膜処理部５０による化学反応後の膜をイオン照射して膜を平坦化することができる。後者の場合、イオン照射部６０でのイオン照射により化合物膜から分離した酸素原子又は窒素原子を、膜処理部５０の処理空間５９に酸素ガス又は窒素ガスを含ませることで、次に通過する膜処理部５０で補うことができる。

【００９６】

（３）上記実施形態では、搬送部３０が回転テーブル３１を有するとしたが、回転テーブル３１に代えて、回転中心から放射状に延びたアームとしても良い。この場合、アームはトレイ３４やワーク１０を保持して回転する。

【００９７】

（４）成膜処理部４０、膜処理部５０、イオン照射部６０がチャンバ２０の底部側にあり、成膜処理部４０、膜処理部５０、イオン照射部６０と回転テーブル３１との上下関係が逆となっていても良い。この場合、トレイ３４が配設される回転テーブル３１の表面は、回転テーブル３１が水平方向である場合に下方を向く面、つまり下面となる。

【００９８】

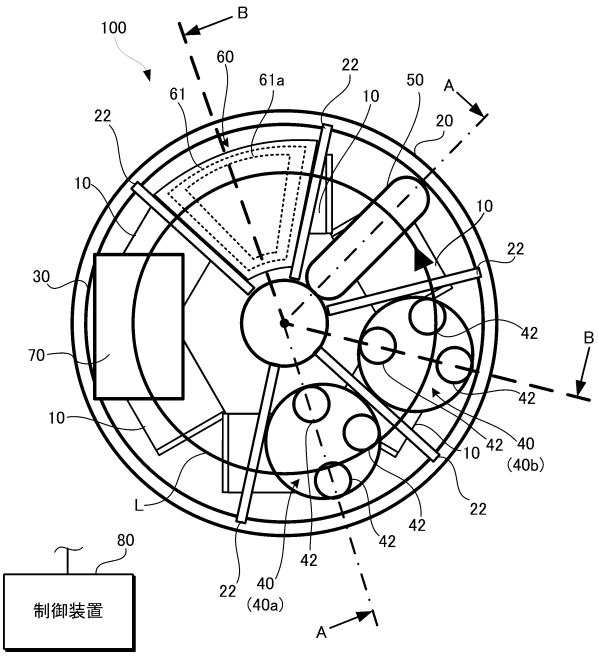
（５）成膜装置１００の設置面は、床面であっても、天井であっても、側壁面であってもよい。上記の態様では、水平に配置した回転テーブル３１の上面にトレイ３４を設け、この回転テーブル３１を水平面内で回転させ、この回転テーブル３１の上方に成膜処理部４０、膜処理部５０、イオン照射部６０を配置するものとして説明したが、これに限定されない。例えば、回転テーブル３１の配置は、水平に限らず垂直の配置でも傾斜した配置でもよい。また、トレイ３４を、回転テーブル３１の相反する面（両面）に設けるようにしてもよい。つまり、本発明は、搬送部３０の回転平面の方向はどのような方向であってもよく、トレイ３４の位置、成膜処理部４０、膜処理部５０、イオン照射部６０の位置は、トレイ３４に保持されたワーク１０が成膜処理部４０、膜処理部５０、イオン照射部６

０により処理可能な位置であればよい。
【符号の説明】
【００９９】
１０　ワーク
１１　$SiO_2$膜
１２　$Nb_2O_5$膜
２０　チャンバ
２０ａ　天井
２０ｂ　内底面
２０ｃ　内周面
２１　排気口
２１ａ　開口
２２　区切部
３０　搬送部
３１　回転テーブル
３２　モータ
３３　保持部
３４　トレイ
４０、４０ａ、４０ｂ　成膜処理部
４１　処理空間
４２　ターゲット
４３　バッキングプレート
４４　電極
４６　電源部
４７　ガス導入口
４８　配管
４９　スパッタガス導入部
５０　膜処理部
５１　筒状体
５２　窓部材
５３　アンテナ
５４　ＲＦ電源
５５　マッチングボックス
５６　ガス導入口
５７　配管
５８　プロセスガス導入部
５９　処理空間
６０　イオン照射部
６１　筒形電極
６１ａ　開口部
６１ｂ　フランジ
６２　絶縁部材
６３　ハウジング
６４　シールド
６５　プロセスガス導入部
６６　ＲＦ電源
６７　マッチングボックス
７０　ロードロック部
８０　制御装置
９０　排気部

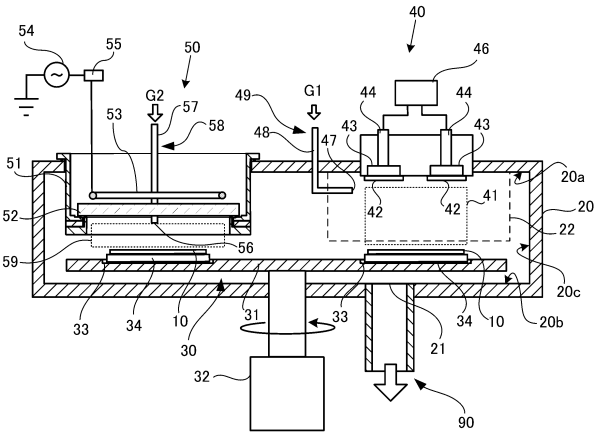
１００　成膜装置
Ｇ１　スパッタガス
Ｇ２　プロセスガス
Ｇ３　プロセスガス

【図面】

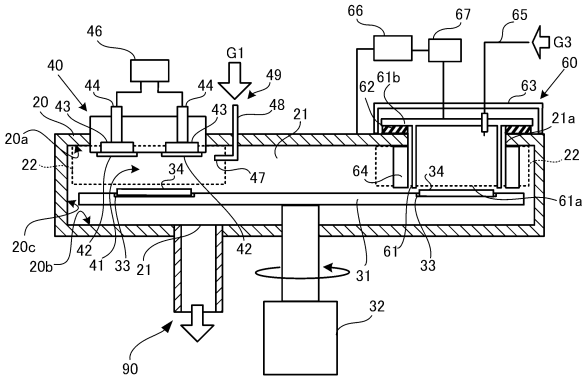
【図１】



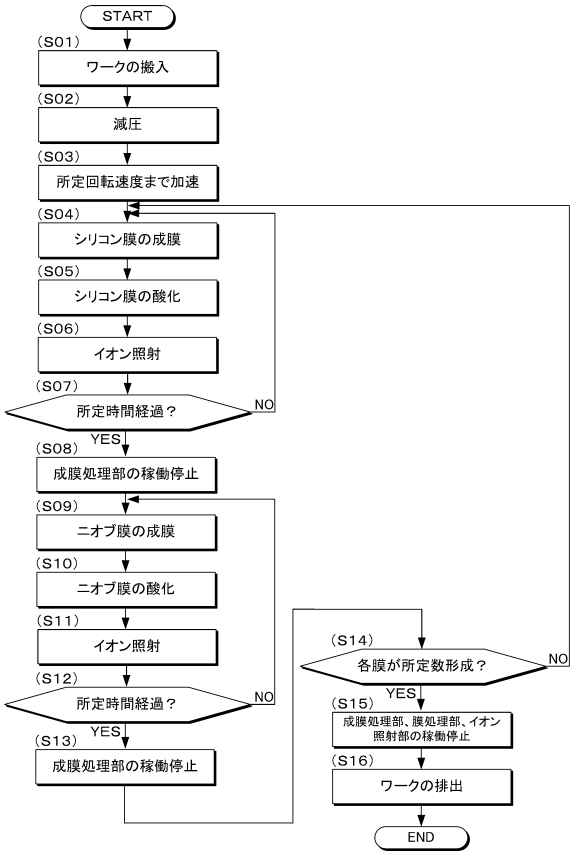

【図２】



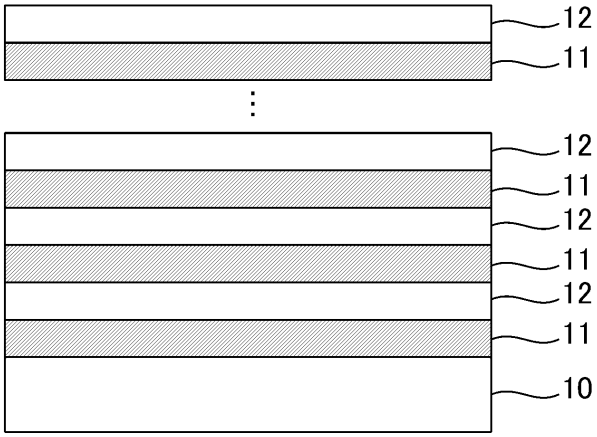

【図３】



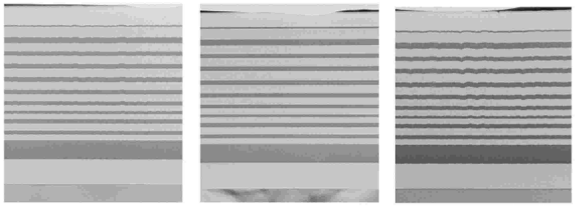

【図４】



【図５】

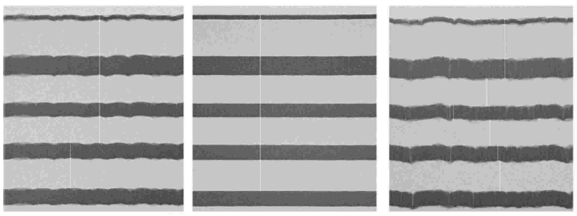



【図６】



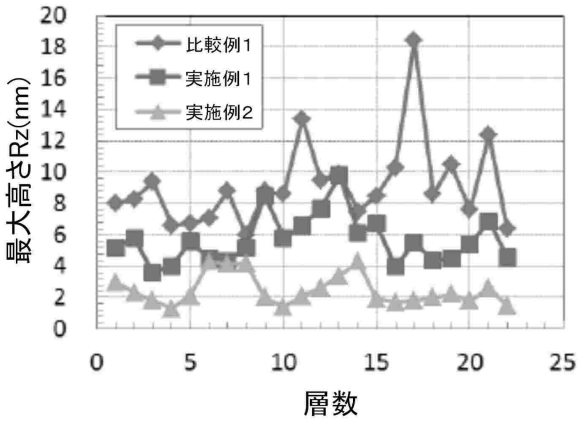
(a) 実施例1　(b) 実施例2　(c) 比較例1

【図７】

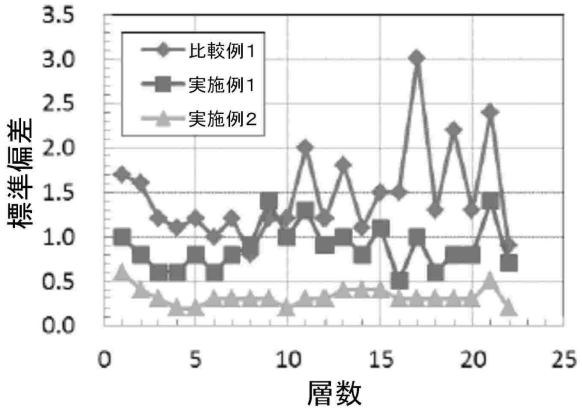


(a) 実施例1　(b) 実施例2　(c) 比較例1

【図８】



【図９】



フロントページの続き

(56)参考文献　　特開２００５－２９０４３２（ＪＰ，Ａ）
特開２０１７－１２０７８１（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｃ２３Ｃ　１４／３４
Ｃ２３Ｃ　１４／５８