

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3887291号
(P3887291)

(45) 発行日 平成19年2月28日(2007.2.28)

(24) 登録日 平成18年12月1日(2006.12.1)

(51) Int.C1.

F 1

| | | | |
|--------------------|------------------|-------------|---|
| H01L 21/31 | (2006.01) | H01L 21/31 | C |
| C23C 16/46 | (2006.01) | C23C 16/46 | |
| H01L 21/316 | (2006.01) | H01L 21/316 | M |
| H05B 3/14 | (2006.01) | H05B 3/14 | C |

請求項の数 8 (全 53 頁)

| | |
|-----------|-------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2002-278198 (P2002-278198) |
| (22) 出願日 | 平成14年9月24日 (2002.9.24) |
| (65) 公開番号 | 特開2004-119521 (P2004-119521A) |
| (43) 公開日 | 平成16年4月15日 (2004.4.15) |
| 審査請求日 | 平成15年9月9日 (2003.9.9) |

| | |
|-----------|--|
| (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6号 |
| (74) 代理人 | 100070150 弁理士 伊東 忠彦 |
| (72) 発明者 | 堀口 貴弘 東京都港区赤坂5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 | 桑嶋 亮 東京都港区赤坂5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 |
| 審査官 藤原 敬士 | |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】基板処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

内部に処理空間が形成された処理容器と、
前記処理空間に挿入された被処理基板を所定温度に加熱する発熱体と、
前記発熱体を収納し、ベース上に設けられ、該ベース上に当接する円筒部と該円筒部を
覆う天板とからなる石英透明ケースと、

前記石英透明ケースの上面に載置されたSIC製の加熱板と、
透明石英により形成され、前記加熱板上方の対向近接した位置に前記被処理基板を保持
する保持部材と、

前記保持部材を回転駆動する回転駆動手段と、

を備え、

前記保持部材は、

前記被処理基板を支持するように水平方向に放射状に延在する複数の腕部と、
一端が前記複数の腕部を支持し、他端が前記石英透明ケースの中央で上下方向に延在す
る中空部に挿通され、前記回転駆動手段により回転駆動される軸とを有することを特徴と
する基板処理装置。

【請求項2】

前記処理容器の内部を減圧と共に、前記石英透明ケースの内部空間を減圧する減圧
手段を備えたことを特徴とする請求項1記載の基板処理装置。

【請求項3】

10

20

前記発熱体の下方に前記発熱体からの熱を上方に反射する熱反射部材を設けたことを特徴とする請求項1記載の基板処理装置。

【請求項4】

前記発熱体及び前記熱反射部材は、前記石英透明ケース内に設けられ前記ベース上に起立するクランプ機構により挿持されたことを特徴とする請求項3記載の基板処理装置。

【請求項5】

前記処理容器は、前面、後面、左右側面からなるほぼ四角形状を有すると共に、前記左右側面は前記処理空間の横幅方向を規定し、

前記処理容器の前面より前記処理空間内で前記保持部材に保持された前記被処理基板に向けてガスを噴射する複数の噴射孔を横幅方向に一列に有するガス噴射部と、

前記処理空間の後面側の下方で前記処理空間の横幅方向に延在するように設けられ、前記処理空間の中央で保持された被処理基板を通過したガスを排気する排気口と、

を備えたことを特徴とする請求項1記載の基板処理装置。

【請求項6】

前記処理容器は、

前記処理空間の上方から前記ガス噴射部から噴射されたガス及び前記保持部材に保持されて回転駆動される前記被処理基板に紫外線を照射する紫外線光源を備えたことを特徴とする請求項1記載の基板処理装置。

【請求項7】

前記紫外線光源は、前記処理容器の上部に設けられ、前記処理空間の前面側の半分の領域に紫外線を照射するように配置されたことを特徴とする請求項6記載の基板処理装置。

【請求項8】

前記石英透明ケースは、前記円筒部の内部に横架された梁部を有することを特徴とする請求項1記載の基板処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は基板処理装置に係り、特に基板に対し成膜などの処理を施す基板処理装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

今日の超高速半導体装置では、微細化プロセスの進歩とともに、 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下のゲート長が可能になりつつある。一般に微細化とともに半導体装置の動作速度は向上するが、このように非常に微細化された半導体装置では、ゲート絶縁膜の膜厚を、微細化によるゲート長の短縮に伴って、スケーリング則に従って減少させる必要がある。

【0003】

しかしゲート長が $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下になると、ゲート絶縁膜の厚さも、従来の熱酸化膜を使った場合、 $1\sim 2\text{ nm}$ 、あるいはそれ以下に設定する必要があるが、このように非常に薄いゲート絶縁膜ではトンネル電流が増大し、その結果ゲートリーコード電流が増大する問題を回避することができない。

【0004】

このような事情で従来より、比誘電率が熱酸化膜のものよりもはるかに大きく、このため実際の膜厚が大きくても SiO_2 膜に換算した場合の膜厚が小さい Ta_2O_5 や Al_2O_3 、 ZrO_2 、 HfO_2 、さらには ZrSiO_4 あるいは HfSiO_4 のような高誘電体材料をゲート絶縁膜に対して適用することが提案されている。このような高誘電体材料を使うことにより、ゲート長が $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下と、非常に短い超高速半導体装置においても 10 nm 程度の物理的膜厚のゲート絶縁膜を使うことができ、トンネル効果によるゲートリーコード電流を抑制することができる。

【0005】

例えば、従来より Ta_2O_5 膜は $\text{Ta}(\text{OC}_2\text{H}_5)_5$ および O_2 を気相原料としたCVD法に

10

20

30

40

50

より形成できることが知られている。典型的な場合、CVDプロセスは減圧環境下、約480°C、あるいはそれ以上の温度で実行される。このようにして形成されたTa₂O₅膜は、さらに酸素雰囲気中において熱処理され、その結果、膜中の酸素欠損が解消され、また膜自体が結晶化する。このようにして結晶化されたTa₂O₅膜は大きな比誘電率を示す。

【0006】

チャネル領域中のキャリアモビリティを向上させる観点からは、高誘電体ゲート酸化膜とシリコン基板との間に、1nm以下、好ましくは0.8nm以下の厚さのきわめて薄いベース酸化膜を介在させるのが好ましい。ベース酸化膜は、非常に薄い必要があり、厚さが厚いと高誘電体膜をゲート絶縁膜に使った効果が相殺される。一方、かかる非常に薄いベース酸化膜は、シリコン基板表面を一様に覆う必要があり、また界面準位等の欠陥を形成しないことが要求される。10

【0007】

従来より、薄いゲート酸化膜はシリコン基板の急速熱酸化(RTO)処理(例えば、特許文献1参照)により形成されるのが一般的であるが、熱酸化膜を所望の1nm以下の厚さに形成しようとすると、膜形成時の処理温度を低下させる必要がある。しかし、このように低温で形成された熱酸化膜は界面準位等の欠陥を含みやすく、高誘電体ゲート酸化膜のベース酸化膜としては不適当である。

【0008】

図1は高誘電体ゲート絶縁膜を有する高速半導体装置10の概略的な構成を、示す。20

【0009】

図1を参照するに、半導体装置10はシリコン基板11上に形成されており、シリコン基板11上には薄いベース酸化膜12を介して、Ta₂O₅, Al₂O₃, ZrO₂, HfO₂, ZrSiO₄, HfSiO₄等の高誘電体ゲート絶縁膜13が形成され、さらに前記高誘電体ゲート絶縁膜13上にはゲート電極14が形成されている。

【0010】

図1の半導体装置10では、前記ベース酸化膜層12の表面部分に、シリコン基板11とベース酸化膜12との間の界面の平坦性が保たれるような範囲で窒素(N)がドープされ、酸窒化膜12Aが形成されている。シリコン酸化膜よりも比誘電率の大きい酸窒化膜12Aをベース酸化膜12中に形成することにより、ベース酸化膜12の熱酸化膜換算膜厚をさらに減少させることができることになる。30

【0011】

先にも説明したように、かかる高速半導体装置10では、前記ベース酸化膜12の厚さは可能な限り薄いのが好ましい。

【0012】

【特許文献1】

特開平5-47687号公報(第3頁、図1)

【発明が解決しようとする課題】

しかし、ベース酸化膜12を1nm以下、例えば0.8nm以下、さらには2~3原子層に対応する0.4nm前後の厚さで一様に、かつ安定に形成するのは、従来より非常に困難であった。40

【0013】

また、ベース酸化膜12上に形成される高誘電体ゲート絶縁膜13の機能を発現させるためには、堆積した高誘電体膜13を熱処理により結晶化し、また酸素欠損補償を行う必要があるが、このような熱処理を高誘電体膜13に対して行った場合、ベース酸化膜12の膜厚が増大してしまい、高誘電体ゲート絶縁膜13を使うことによるゲート絶縁膜の実効的な膜厚の減少が、実質的に相殺されてしまっていた。

【0014】

このような熱処理に伴うベース酸化膜12の膜厚の増大は、シリコン基板11とベース酸化膜12の界面における、酸素原子およびシリコン原子の相互拡散、およびこれに伴うシ50

リケート遷移層の形成、あるいはシリコン基板中への酸素の侵入によるベース酸化膜12の成長の可能性を示唆している。このようなベース酸化膜12の熱処理に伴う膜厚増大の問題は、特にベース酸化膜12の膜厚が、ベース酸化膜として望ましい数原子層以下の膜厚まで低減された場合、非常に深刻な問題になる。

【0015】

そこで、本発明は上記の課題を解決した、新規で有用な基板処理装置を提供することを概括的課題とする。

【0016】

本発明により具体的な課題は、シリコン基板表面に非常に薄い、典型的には2~3原子層分の厚さの酸化膜を安定に形成し、さらにこれを窒化して酸窒化膜を形成することができる基板処理装置を提供することにある。

10

【0017】

さらに、本発明の他の課題は、上記のような課題を解決すると共に、酸化膜の均一性やスループットの改善、及びコンタミネーションの防止を図るために構成された基板処理装置を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】

本発明は上記の課題を解決するため、以下のような特徴を有する。

【0019】

上記請求項1記載の発明は、内部に処理空間が画成された処理容器と、

20

前記処理空間に挿入された被処理基板を所定温度に加熱する発熱体と、

前記発熱体を収納し、ベース上に設けられ、該ベース上に当接する円筒部と該円筒部を覆う天板とからなる石英透明ケースと、

前記石英透明ケースの上面に載置されたSiC製の加熱板と、

透明石英により形成され、前記加熱板上方の対向近接した位置に前記被処理基板を保持する保持部材と、

前記保持部材を回転駆動する回転駆動手段と、

を備え、

前記保持部材は、

前記被処理基板を支持するように水平方向に放射状に延在する複数の腕部と、

30

一端が前記複数の腕部を支持し、他端が前記石英透明ケースの中央で上下方向に延在する中空部に挿通され、前記回転駆動手段により回転駆動される軸とを有することを特徴とする基板処理装置である。

【0020】

また、請求項2記載の発明は、前記処理容器の内部を減圧すると共に、前記石英透明ケースの内部空間を減圧する減圧手段を備えたことを特徴とするものである。

【0021】

また、請求項3記載の発明は、前記発熱体の下方に前記発熱体からの熱を上方に反射する熱反射部材を設けたことを特徴とするものである。

【0022】

40

また、請求項4記載の発明は、前記発熱体及び前記熱反射部材は、前記石英透明ケース内に設けられ前記ベース上に起立するクランプ機構により挟持されたことを特徴とするものである。

【0023】

また、請求項5記載の発明は、前記処理容器が、前面、後面、左右側面からなるほぼ四角形状を有すると共に、前記左右側面は前記処理空間の横幅方向を規定し、

前記処理容器の前面より前記処理空間内で前記保持部材に保持された前記被処理基板に向けてガスを噴射する複数の噴射孔を横幅方向に一列に有するガス噴射部と、

前記処理空間の後面側の下方で前記処理空間の横幅方向に延在するように設けられ、前記処理空間の中央で保持された被処理基板を通過したガスを排気する排気口と、

50

を備えたことを特徴とするものである。

また、請求項 6 記載の発明は、前記処理容器が、前記処理空間の上方から前記ガス噴射部から噴射されたガス及び前記保持部材に保持されて回転駆動される前記被処理基板に紫外線を照射する紫外線光源を備えたことを特徴とするものである。

また、請求項 7 記載の発明は、前記紫外線光源が、前記処理容器の上部に設けられ、前記処理空間の前面側の半分の領域に紫外線を照射するように配置されたことを特徴とするものである。

また、請求項 8 記載の発明は、前記石英透明ケースが、前記円筒部の内部に横架された梁部を有することを特徴とするものである。

【0024】

10

請求項 1 記載の本発明によれば、処理空間に挿入された被処理基板を所定温度に加熱する発熱体が、透明石英ケースに収納された構成であるので、発熱体によるコンタミネーションを防止すると共に、被処理基板を保持する透明石英により形成された保持部材を回転させながら発熱体により加熱された加熱板からの熱を被処理基板の全体に放射することができ、これにより被処理基板の温度分布を均一に保ち、被処理基板の反りを抑制することができ、被処理基板の成膜処理を安定、且つ効率良く行えるので、生産性を高めることができ可能になる。

【0025】

20

また、請求項 2 記載の本発明によれば、処理容器の内部を減圧すると共に、透明ケースの内部空間を減圧することにより、透明ケースの内外圧力差を抑制でき、石英透明ケースに作用する力を軽減した分石英透明ケースの肉厚を薄くして発熱体からの熱伝導効率を高めることができ可能になる。

【0026】

30

また、請求項 3 記載の本発明によれば、石英透明ケースの上面に発熱体により加熱される SiC 製の加熱板を設け、加熱板の上面が保持部材に保持された被処理基板の下面に近接対向することにより、熱伝導が向上し、被処理基板を 700 °C の温度に加熱できると共に、発熱体に温度差が生じにくくなつて発熱体の割れを防止できる。

また、請求項 4 記載の本発明によれば、発熱体及び熱反射部材が、石英透明ケース内に設けられベース上に起立するクランプ機構により挟持されたため、発熱体及び熱反射部を石英透明ケースに接触しないように安定した状態に支持することができる。

【0027】

また、請求項 5 記載の本発明によれば、処理容器が、前面、後面、左右側面からなるほぼ四角形状を有すると共に、左右側面は処理空間の横幅方向を規定し、処理容器の前面より処理空間内で保持部材に保持された被処理基板に向けてガスを噴射する複数の噴射孔を横幅方向に一列に有するガス噴射部と、処理空間の後面側の下方で処理空間の横幅方向に延在するように設けられ、処理空間の中央で保持された被処理基板を通過したガスを排気する排気口と、を備えたため、保持部材に保持された状態で回転駆動される被処理基板の表面にガスを安定的に供給することができ、被処理基板の成膜処理を安定、且つ効率良く行えるので、生産性を高めることができ可能になる。

また、請求項 6 記載の本発明によれば、処理容器が、処理空間の上方から前記ガス噴射部から噴射されたガス及び保持部材に保持された被処理基板に紫外線を照射する紫外線光源を備えたため、保持部材に保持された状態で回転駆動される被処理基板に照射される紫外線の強度分布を一様にすることができると共に、被処理基板に対する紫外光ラジカル酸化処理を安定化できる。

また、請求項 7 記載の本発明によれば、紫外線光源が、処理容器の上部に設けられ、処理空間の前面側の半分の領域に紫外線を照射するように配置されたため、紫外光ラジカル酸化処理を安定化できると共に、被処理基板の全域に紫外線光源を配置するよりも紫外線光源の数を減らすことができる。

また、請求項 8 記載の本発明によれば、石英透明ケースが、円筒部の内部に横架された梁部を有するため、石英透明ケースの強度を高められる。

50

【0028】

また、本発明によれば、発熱体の下方に熱反射部材を設けることにより、被処理基板の全面を効率良く均一に加熱することができる。

【0029】**【発明の実施の形態】**

以下、図面と共に本発明の一実施例について説明する。

【0030】

図2は本発明になる基板処理装置の一実施例の構成を示す正面図である。図3は本発明になる基板処理装置の一実施例の構成を示す側面図である。図4は図2中A-A線に沿う横断面図である。

10

【0031】

図2乃至図4に示されるように、基板処理装置20は、後述するように、シリコン基板の紫外光ラジカル酸化処理と、かかる紫外光ラジカル酸化処理により形成された酸化膜の高周波リモートプラズマを使ったラジカル窒化処理とを、連続して行うことができるよう構成されている。

【0032】

基板処理装置20の主要構成は、内部に処理空間が形成された処理容器22と、処理容器22の内部に挿入された被処理基板(シリコン基板)を所定温度に加熱するヒータ部24と、処理容器22の上部に搭載された紫外線照射部26と、窒素ラジカルを供給するリモートプラズマ部27と、被処理基板を回転させる回転駆動部28と、処理空間に挿入された被処理基板を昇降させるリフタ機構30と、処理容器22の内部を減圧するための排気経路32と、処理容器22の内部にガス(窒素ガス、酸素ガス等のプロセスガス)を供給するためのガス供給部34とからなる。

20

【0033】

また、基板処理装置20は、上記各主要構成部を支持するためのフレーム36を有する。フレーム36は、鉄骨を立体的に組み合わせたものであり、床面に載置される台形状の底部フレーム38と、底部フレーム38の後部より垂直方向に起立された垂直フレーム40,41と、垂直フレーム40の中間部より水平方向に延在するように横架された中間フレーム42と、垂直フレーム40,41の上端部より水平方向に横架された上部フレーム44とから構成されている。

30

【0034】

底部フレーム38には、冷却水供給部46、電磁弁からなる排気用バルブ48a,48b、ターボ分子ポンプ50、真空管路51、紫外線照射部26の電源ユニット52、リフタ機構30の駆動部136、ガス供給部34などが搭載されている。

【0035】

垂直フレーム40の内部には、各種ケーブルが挿通されるケーブルダクト40aが形成されている。また、垂直フレーム41の内部には、排気ダクト41aが形成されている。さらに、垂直フレーム40の中間部に固定されたブラケット58には、緊急停止スイッチ60が取り付けられ、垂直フレーム41の中間部に固定されたブラケット62には、冷却水による温度調整を行う温度調整器64が取り付けられている。

40

【0036】

中間フレーム42には、上記処理容器22、紫外線照射部26、リモートプラズマ部27、回転駆動部28、リフタ機構30、UVランプコントローラ57が支持されている。また、上部フレーム44には、ガス供給部34から引き出された複数のガス管路58が連通されたガスボックス66、イオンゲージコントローラ68、圧力制御を行うAPCコントローラ70、ターボ分子ポンプ50を制御するTMPコントローラ72などが搭載されている。

【0037】

図5は処理容器22の下方に配置された機器の構成を示す正面図である。図6は処理容器22の下方に配置された機器の構成を示す平面図である。図7は処理容器22の下方に配

50

置された機器の構成を示す側面図である。図8は排気経路32の構成を示す図であり、(A)は平面図、(B)は正面図、(C)はB-B線に沿う縦断面図である。

【0038】

図5乃至図7に示されるように、処理容器22の後部下方には、処理容器22内部のガスを排気する排気経路32が設けられている。この排気経路32は、横幅寸法が処理容器22の内部に形成された処理空間の横幅と略同一寸法に形成された長方形状の排気口74と連通するように取り付けられている。

【0039】

このように、排気口74が処理容器22内部の横幅寸法に応じた長さに延在形成されているため、処理容器22の前部22a側から内部に供給されたガスは、後述するように処理容器22の内部を通過して後方へ向かう流れとなり、一定流速(層流)のまま排気経路32へ効率良く排気される。

10

【0040】

図8(A)～(C)に示されるように、排気経路32は、排気口74に連通される長方形状の開口部32aと、開口部32aの左右側面が下方に向けてテーパ状に傾斜したテーパ部32bと、テーパ部32bの下端で通路面積が絞られた底部32cと、底部32cから前方に突出するL字状の主排気管32dと、主排気管32dの下端に開口する排出口32eと、テーパ部32bの下部32fに開口するバイパス用排出口32gとを有する。排出口32eは、ターボ分子ポンプ50の吸気口に連通される。また、バイパス用排出口32gは、バイパス管路51aに連通される。

20

【0041】

図5乃至図7に示されるように、処理容器22の排気口74から排出されたガスは、ターボ分子ポンプ50の吸引力により長方形状に形成された開口部32aから流入してテーパ部32bを通過して底部32cに至り、主排気管32d及び排出口32eを介してターボ分子ポンプ50に導かれる。

【0042】

ターボ分子ポンプ50の吐出管50aは、バルブ48aを介して真空管路51に連通されている。そのため、処理容器22の内部に充填されたガスは、バルブ48aが開弁されると、ターボ分子ポンプ50を介して真空管路51へ排出される。また、排気経路32のバイパス用排出口32gには、バイパス管路51aが接続されており、このバイパス管路51aは、バルブ48bの開弁により真空管路51と連通される。

30

【0043】

ここで、本発明の要部を構成する処理容器22及びその周辺機器の構成について説明する。

【0044】

〔処理容器22の構成〕

図9は処理容器22及びその周辺機器を拡大して示す側面縦断面図である。図10は蓋部材82を外した処理容器22の内部を上方からみた平面図である。

図9及び図10に示されるように、処理容器22は、チャンバ80の上部開口を蓋部材82により閉塞する構成であり、内部がプロセス空間(処理空間)84になっている。

40

【0045】

処理容器22は、前部22aにガスが供給される供給口22gが形成され、後部22bに搬送口94が形成されている。供給口22gには、後述するガス噴射ノズル部93が設けられ、搬送口94には後述するゲートバルブ96が連通される。

【0046】

図11は処理容器22の平面図である。図12は処理容器22の正面図である。図13は処理容器22の底面図である。図14は図12中C-C線に沿う縦断面図である。図15は処理容器22の右側面図である。図16は処理容器22の左側面図である。

【0047】

図11乃至図16に示されるように、処理容器22の底部22cには、ヒータ部24が挿

50

入される開口 7 3 と、前述した長方形状に開口した排気口 7 4 とが設けられている。排気口 7 4 には、前述した排気経路 3 2 が連通される。尚、チャンバ 8 0 及び蓋部材 8 2 は、例えば、アルミ合金を切削加工して上記のような形状に加工したものである。

【 0 0 4 8 】

また、処理容器 2 2 の右側面 2 2 e には、プロセス空間 8 4 を覗くための第 1 、第 2 の窓 7 5 , 7 6 と、プロセス空間 8 4 の温度を測定するためのセンサユニット 7 7 が取り付けられている。

【 0 0 4 9 】

本実施例では、右側面 2 2 e の中央より左側に橢円形に形成された第 1 の窓 7 5 が配置され、右側面 2 2 e の中央より右側に円形に形成された第 2 の窓 7 6 が配置されているので、両方向からプロセス空間 8 4 に保持された被処理基板 W の状態を直接目視することができる、被処理基板 W の成膜状況などを観測するのに有利である。10

【 0 0 5 0 】

尚、窓 7 5 , 7 6 は、熱電対などの温度測定器具を挿入する場合に処理容器 2 2 から外すことが可能な構成になっている。

【 0 0 5 1 】

また、処理容器 2 2 の左側面 2 2 d には、プロセス空間 8 4 の圧力を測定するためのセンサユニット 8 5 が取り付けられている。このセンサユニット 8 5 には、測定レンジの異なる 3 個の圧力計 8 5 a ~ 8 5 c が設けられており、プロセス空間 8 4 の圧力変化を高精度に測定することが可能である。20

【 0 0 5 2 】

また、プロセス空間 8 4 を形成する処理容器 2 2 の内壁の四隅には、R 形状に形成された湾曲部 2 2 h が設けられており、この湾曲部 2 2 h により応力集中を回避すると共に、ガス噴射ノズル部 9 3 から噴射されたガス流が安定化するように作用する。

【 0 0 5 3 】

〔 紫外線照射部 2 6 の構成 〕

図 8 乃至図 11 に示されるように、紫外線照射部 2 6 は、蓋部材 8 2 の上面に取り付けられている。この紫外線照射部 2 6 の筐体 2 6 a の内部には、円筒状に形成された 2 本の紫外線光源 (UV ランプ) 8 6 , 8 7 が所定間隔で平行に配置されている。

【 0 0 5 4 】

この紫外線光源 8 6 , 8 7 は、波長が 172 nm の紫外線を発光する特性を有しており、蓋部材 8 2 に形成された横方向に延在形成された長方形状の開口 8 2 a , 8 2 b を介してプロセス空間 8 4 に保持された被処理基板 W の上面に対向するようにプロセス空間 8 4 の前側半分 (図 8 では左半分) の領域に紫外線を照射する位置に設けられている。30

【 0 0 5 5 】

また、直線状に延在する紫外線光源 8 6 , 8 7 から被処理基板 W 上に照射される紫外線の強度分布は、一様ではなく、被処理基板 W の半径方向の位置によって変化しており、一方が被処理基板 W の外周側ほど減少し、他方が内周側ほど減少する。このように紫外線光源 8 6 , 8 7 は、単独では単調に変化する紫外線強度分布を被処理基板 W 上に形成するが、被処理基板 W に対する紫外線強度分布の変化方向が逆になっている。40

【 0 0 5 6 】

そのため、紫外線光源 8 6 , 8 7 の駆動パワーを UV ランプコントローラ 5 7 の制御により最適化することにより、被処理基板 W 上に非常に一様な紫外線強度分布を実現することが可能になる。

【 0 0 5 7 】

尚、かかる駆動パワーの最適値は、紫外線光源 8 6 , 8 7 への駆動出力を変化させて成膜結果を評価することで最適値を求めることができる。

【 0 0 5 8 】

また、被処理基板 W と紫外線光源 8 6 , 8 7 の円筒形状の円筒芯の中心との距離は、例えば、50 ~ 300 mm に設定されており、望ましくは 100 ~ 200 mm 程度が良い。50

【0059】

図17は紫外線光源86, 87の取付構造を拡大して示す縦断面図である。

図17に示されるように、紫外線光源86, 87は、紫外線照射部26の筐体26aの底部開口26bに対向する位置に保持されている。そして、底部開口26bは、プロセス空間84に保持された被処理基板Wの上面に対向する位置に開口すると共に、紫外線光源86, 87の全長よりも長い横幅寸法の長方形状に形成されている。

【0060】

底部開口26bの周縁部26cには、透明な石英により形成された透明窓88が取り付けられている。透明窓88は、紫外線光源86, 87から照射された紫外線をプロセス空間84に透過する共に、プロセス空間84が減圧されたときの圧力差にも耐える強度を有している。10

【0061】

また、透明窓88の下面周縁部には、底部開口26bの周縁部26cの溝内に装着されたシール部材(オーリング)89が当接するシール面88aが形成されている。このシール面88aは、シール部材89を保護するためのコーティングまたは黒石英により形成されている。これにより、シール部材89の材質が分解せず、劣化を防止してシール性能を確保すると共に、シール部材89の材質がプロセス空間84に侵入することを防止する。

【0062】

また、透明窓88の上面周縁部には、ステンレス製のカバー88bが当接しており、透明窓88を締結部材91により挟持する際の強度を高めることで、締結時の押圧力により透明窓88が破損することを防止する。20

【0063】

また、本実施例では、紫外線光源86, 87及び透明窓88がガス噴射ノズル部93から噴射されたガス流の流れ方向に対して直交する方向に延在するように設けたが、これに限らず、例えば、紫外線光源86, 87及び透明窓88をガス流の流れ方向に延在する方向に設けるようにしても良い。

【0064】

〔ガス噴射ノズル部93の構成〕

図9及び図10に示されるように、処理容器22は、前部22aに開口する供給口22gに窒素ガスまたは酸素ガスをプロセス空間84内部に噴射するガス噴射ノズル部93が設けられている。このガス噴射ノズル部93は、後述するようにプロセス空間84の横幅方向に複数の噴射口93aが一列に配置されており、複数の噴射口93aから噴射されたガスが層流状態で被処理基板Wの表面を通過するようにプロセス空間84の内部に安定した流れを発生させる。30

【0065】

尚、プロセス空間84を閉塞する蓋部材82の下面と被処理基板Wとの距離は、例えば、5~100mmに設定されており、望ましくは25~85mm程度が良い。

【0066】

〔ヒータ部24の構成〕

図9及び図10に示されるように、ヒータ部24は、アルミ合金製のベース110と、ベース110上に固定された透明な石英ベルジャ112と、石英ベルジャ112の内部空間113に収納されたSiCヒータ114と、不透明石英により形成された熱反射部材(リフレクタ)116と、石英ベルジャ112の上面に載置されSiCヒータ114により加熱されるSiCサセプタ(加熱部材)118と、を備えた構成である。40

【0067】

そのため、SiCヒータ114及び熱反射部材116は、石英ベルジャ112の内部空間113に隔離されており、プロセス空間84でのコンタミネーションが防止される。また、洗浄工程においては、プロセス空間84内に露出されたSiCサセプタ118のみを洗浄すれば良いので、SiCヒータ114及び熱反射部材116を洗浄する手間を省略することが可能になる。50

【0068】

被処理基板Wは、保持部材120によりSiCサセプタ118の上方に対向するように保持される。一方、SiCヒータ114は、熱反射部材116の上面に載置されており、SiCヒータ114の発熱は、SiCサセプタ118に放射されると共に、熱反射部材116で反射された熱もSiCサセプタ118に放射される。尚、本実施例のSiCヒータ114は、SiCサセプタ118から僅かに離間した状態で約700°Cの温度に加熱される。

【0069】

SiCサセプタ118は、熱伝導率が良いので、SiCヒータ114からの熱を被処理基板Wに効率良く伝達して被処理基板Wが周縁部分と中心部分との温度差を無くして、被処理基板Wが温度差で反ることを防止する。10

【0070】

〔回転駆動部28の構成〕

図9及び図10に示されるように、回転駆動部28は、SiCサセプタ118の上方で被処理基板Wを保持する保持部材120と、上記ベース110の下面に固定されたケーシング122と、ケーシング122により画成された内部空間124内で保持部材120の軸120dに結合されたセラミック軸126を回転駆動させるモータ128と、モータ128の回転を伝達するためのマグネットカップリング130とから構成されている。

【0071】

回転駆動部28においては、保持部材120の軸120dが石英ベルジャ112を貫通してセラミック軸126に結合され、セラミック軸126とモータ128の回転軸との間にマグネットカップリング130を介して非接触で駆動力を伝達する構成であるので、回転駆動系の構成がコンパクトになっており、装置全体の小型化にも寄与している。20

【0072】

保持部材120は、軸120dの上端より水平方向に放射状（周方向に120度間隔）に延在する腕部120a～120cを有する。被処理基板Wは、保持部材120の腕部120a～120cに載置された状態で保持される。このように保持された被処理基板Wは、保持部材120と共にモータ128により一定の回転速度で回転されており、これによりSiCヒータ114の発熱による温度分布が平均化されると共に、紫外線光源86, 87から照射される紫外線の強度分布が均一になり、表面に均一な成膜が施される。30

【0073】

〔リフタ機構30の構成〕

図9及び図10に示されるように、リフタ機構30は、チャンバ80の下方、且つ石英ベルジャ112の側方に設けられ、チャンバ80内に挿入された昇降アーム132と、昇降アーム132に連結された昇降軸134と、昇降軸134を昇降させる駆動部136とから構成されている。昇降アーム132は、例えば、セラミックまたは石英により形成されており、図10に示されるように、昇降軸134の上端が結合された結合部132aと、SiCサセプタ118の外周を囲む環状部132bとを有する。そして、昇降アーム132には、環状部132bの内周より中心に延在する3本の当接ピン138a～138cが周方向に120度間隔で設けられている。40

【0074】

当接ピン138a～138cは、SiCサセプタ118の外周から中心に向かって延在形成された溝118a～118cに嵌合する位置に降下しており、昇降アーム132が上昇することによりSiCサセプタ118の上方に移動する。また、当接ピン138a～138cは、SiCサセプタ118の中心より外周側に延在するように形成された保持部材120の腕部120a～120cと干渉しないように配置されている。

【0075】

昇降アーム132は、搬送口ボット98のロボットハンドが被処理基板Wを取り出す直前に上記当接ピン138a～138cを被処理基板Wの下面に当接させて被処理基板Wを保持部材120の腕部120a～120cより持ち上げる。これにより、搬送口ボット9850

のロボットハンドは、被処理基板Wの下方に移動することが可能になり、昇降アーム132が降下することで被処理基板Wを保持して搬送することが可能になる。

【0076】

[石英ライナ100の構成]

図9及び図10に示されるように、処理容器22の内部には、紫外線を遮断するため、例えば白色などの不透明石英により形成された石英ライナ100が装着されている。また、石英ライナ100は、後述するように下部ケース102と、側面ケース104と、上部ケース106と、石英ベルジャヤ112の外周を覆う円筒状ケース108とを組み合わせた構成になっている。

【0077】

この石英ライナ100は、プロセス空間84を形成する処理容器22及び蓋部材82の内壁を覆うことにより、処理容器22及び蓋部材82の熱膨張を防止する断熱効果が得られると共に、処理容器22及び蓋部材82の内壁が紫外線によって酸化することを防止し、且つ金属のコンタミネーションを防止する役目を有している。

【0078】

[リモートプラズマ部27の構成]

図9及び図10に示されるように、プロセス空間84に窒素ラジカルを供給するリモートプラズマ部27は、処理容器22の前部22aに取り付けられており、供給管路90を介して処理容器22の供給口92に連通されている。

【0079】

このリモートプラズマ部27では、Arなどの不活性ガスと共に窒素ガスが供給され、これをプラズマにより活性化することにより、窒素ラジカルを形成することが可能である。このようにして形成された窒素ラジカルは、被処理基板Wの表面に沿って流れ、基板表面を窒化する。

【0080】

また、窒素ガスの他に、O₂、NO、N₂O、NO₂、NH₃ガス等を用いた酸化、酸窒化ラジカルプロセスも実施可能である。

【0081】

[ゲートバルブ96の構成]

図9及び図10に示されるように、処理容器22の後部には、被処理基板Wを搬送するための搬送口94が設けられている。この搬送口94は、ゲートバルブ96により閉塞されており、被処理基板Wを搬送するときのみゲートバルブ96の開動作により開放される。

【0082】

ゲートバルブ96の後方には、搬送ロボット98が設けられている。そして、ゲートバルブ96の開動作に合わせて搬送ロボット98のロボットハンドが搬送口94よりプロセス空間84内部に進入して被処理基板Wの交換作業を行う。

[上記各構成部の詳細]

(1) ここで、上記ガス噴射ノズル部93の構成について詳細に説明する。

図18はガス噴射ノズル部93の構成を拡大して示す縦断面図である。図19はガス噴射ノズル部93の構成を拡大して示す横断面図である。図20はガス噴射ノズル部93の構成を拡大して示す正面図である。

【0083】

図18乃至図20に示されるように、ガス噴射ノズル部93は、前面中央に上記リモートプラズマ部27の供給管路90が連通される連通孔92を有し、連通孔92の上方に複数の噴射孔93a₁～93a_nが横方向に一列に配設されたノズル板93b₁～93b₃が取り付けられている。噴射孔93a₁～93a_nは、例えば、直径1mmの小孔であり、10mm間隔で設けられている。

【0084】

また、本実施例では、小孔からなる噴射孔93a₁～93a_nを設けたが、これに限らず、例えば、細いスリットを噴射孔として設ける構成としても良い。

10

20

30

40

50

【0085】

また、ノズル板93b₁～93b₃は、ガス噴射ノズル部93の壁面に締結されている。そのため、噴射孔93a₁～93a_nから噴射されたガスは、ガス噴射ノズル部93の壁面より前方に流れる。

【0086】

例えば、噴射孔93a₁～93a_nがパイプ状のノズル管路に設けられている場合には、噴射孔93a₁～93a_nから噴射されたガスの一部がノズル管路の後方に回り込むような流れが生じてしまい、プロセス空間84内にガス溜まりが発生して被処理基板W周辺のガス流が安定しないという問題が生じる。

【0087】

しかしながら、本実施例では、噴射孔93a₁～93a_nがガス噴射ノズル部93の壁面に形成される構成であるので、このようなガスがノズル後方に戻るという現象が発生せず、被処理基板W周辺のガス流を安定した層流状態に保つことが可能になる。これにより、被処理基板W上の成膜が均一に形成される。

【0088】

また、各ノズル板93b₁～93b₃に対向する内壁には、ガス溜まりとして機能する凹部93c₁～93c₃が形成されている。この凹部93c₁～93c₃が噴射孔93a₁～93a_nの上流に設けられているので、各噴射孔93a₁～93a_nから噴射されるガスの夫々の流速を平均化することができる。これにより、プロセス空間84の全域における流速を平均化することが可能になる。

【0089】

さらに、各凹部93c₁～93c₃は、ガス噴射ノズル部93を貫通するガス供給孔93d₁～93d₃が連通されている。尚、中央のガス供給孔93d₂は、連通孔92と交差しないように横方向にずらした位置に形成されており、クランク形状に曲げられている。

【0090】

そして、中央のガス供給孔93d₂には、第1のマスフローコントローラ97aによって流量制御されたガスがガス供給管路99₂を介して供給される。また、ガス供給孔93d₂の左右に配置されたガス供給孔93d₁, 93d₃には、第2のマスフローコントローラ97bによって流量制御されたガスがガス供給管路99₁, 99₃を介して供給される。

【0091】

また、第1のマスフローコントローラ97a及び第2のマスフローコントローラ97bは、ガス供給管路99₄, 99₅を介してガス供給部34と接続されており、ガス供給部34から供給されるガスの流量を予め設定された流量に制御する。

【0092】

第1のマスフローコントローラ97a及び第2のマスフローコントローラ97bから供給されたガスは、ガス供給管路99₁～99₃を介してガス供給孔93d₁～93d₃に至り、各凹部93c₁～93c₃に充填された後、噴射孔93a₁～93a_nからプロセス空間84に向けて噴射される。

【0093】

プロセス空間84内のガスは、処理容器22の前部22aの横幅方向に延在する各ノズル板93b₁～93b₃の噴射孔93a₁～93a_nからプロセス空間84の全幅に向かって噴射されるため、プロセス空間84の全域で一定流速(層流)で処理容器22の後部22b側へ流れる。

【0094】

さらに、処理容器22の後部22b側には、後部22bの横幅方向に延在する長方形状の排気口74が開口しているため、プロセス空間84内のガスは、後方へ向かう流れとなり、一定流速(層流)のまま排気経路32へ排気される。

【0095】

また、本実施例においては、2系統の流量制御が可能であるので、例えば、第1のマスフ

10

20

30

40

50

ローコントローラ 97a と第 2 のマスフローコントローラ 97b とで異なる流量制御することも可能である。

【0096】

これにより、プロセス空間 84 内に供給されるガスの流量（流速）を異なるように設定してプロセス空間 84 内におけるガスの濃度分布を変化させることも可能である。さらには、第 1 のマスフローコントローラ 97a と第 2 のマスフローコントローラ 97b とで異なる種類のガスを供給することもでき、例えば、第 1 のマスフローコントローラ 97a により窒素ガスの流量制御を行い、第 2 のマスフローコントローラ 97b により酸素ガスの流量制御を行うことも可能である。

【0097】

使用ガスとしては、例えば、酸素含有ガス、窒素含有ガス、並びに希ガス等が挙げられる。

【0098】

(2) ここで、ヒータ部 24 の構成について詳細に説明する。

図 21 はヒータ部 24 の構成を拡大して示す縦断面図である。図 22 はヒータ部 24 を拡大して示す底面図である。

【0099】

図 21 及び図 22 に示されるように、ヒータ部 24 は、アルミ合金製のベース 110 に石英ベルジャ 112 を載置し、処理容器 22 の底部 22c にフランジ 140 を介して固定される。そして、石英ベルジャ 112 の内部空間 113 には、SiC ヒータ 114 及び熱反射部材 116 が収納される。そのため、SiC ヒータ 114 及び熱反射部材 116 は、処理容器 22 のプロセス空間 84 から隔離されており、プロセス空間 84 のガスと接触せず、コンタミネーションが生じない構成になっている。

【0100】

SiC サセプタ 118 は、SiC ヒータ 114 と対向するように石英ベルジャ 112 上に載置されており、パイロメータ 119 によって温度が測定される。このパイロメータ 119 は、SiC サセプタ 118 が加熱されるのに伴って生じる焦電効果（パイロ電気効果）により SiC サセプタ 118 の温度を測定するものであり、制御回路では、パイロメータ 119 により検出された温度信号から被処理基板 W の温度を推測し、この推測温度に基づいて SiC ヒータ 114 の発熱量を制御する。

【0101】

また、石英ベルジャ 112 の内部空間 113 は、後述するように処理容器 22 のプロセス空間 84 を減圧するとき、プロセス空間 84 との圧力差が小さくなるように減圧システムが作動して同時に減圧される。そのため、石英ベルジャ 112 は、減圧工程時の圧力差を考慮して肉厚（例えば 30 mm 程度）にする必要がなく、熱容量が小さくて済み、その分加熱時の応答性を高められる。

【0102】

ベース 110 は、円盤状に形成されており、中央に保持部材 120 の軸 120d が挿通される中央孔 142 を有し、内部には周方向に延在形成された冷却水用の第 1 の水路 144 が設けられている。ベース 110 は、アルミ合金製であるので、熱膨張率が大きいが、第 1 の水路 144 に冷却水を流すことにより、冷却される。

【0103】

また、フランジ 140 は、ベース 110 と処理容器 22 の底部 22c との間に介在する第 1 のフランジ 146 と、第 1 のフランジ 146 の内周に嵌合する第 2 のフランジ 148 とを組み合わせた構成である。第 1 のフランジ 146 の内周面には、周方向に延在形成された冷却水用の第 2 の水路 150 が設けられている。

【0104】

上冷却水供給部 46 から供給された冷却水は、上記水路 144 及び 150 を流れることにより、SiC ヒータ 114 の発熱により加熱されたベース 110 及びフランジ 140 を冷却してベース 110 及びフランジ 140 の熱膨張を抑える。

10

20

30

40

50

【0105】

また、ベース110の下面には、水路144に冷却水を流入させる第1の流入管路152が連通される第1の流入口154と、水路144を通過した冷却水を排出する流出管路156が連通される第1の流出口158とが設けられている。さらに、ベース110の下面の外周近傍には、第1の法兰ジ146に締結されるボルト160を挿通するための取付孔162が周方向に複数（例えば、8～12箇所程度）設けられている。

【0106】

また、ベース110下面の半径方向上の中間位置付近には、SiCヒータ114の温度を測定するための熱電対からなる温度センサ164と、SiCヒータ114に電源を供給するための電源ケーブル接続用端子（ソルトン端子）166a～166fが設けられている。
尚、SiCヒータ114には、3つの領域が形成されており、電源ケーブル接続用端子166a～166fは各領域に電源を供給する+側端子、-側端子として設けられている。

10

【0107】

また、法兰ジ140の下面には、水路150に冷却水を流入させる第2の流入管路168が連通される第2の流入口170と、水路150を通過した冷却水を排出する流出管路172が連通される第2の流出口174とが設けられている。

【0108】

図23は第2の流入口170及び第2の流出口174の取付構造を拡大して示す縦断面図である。図24は法兰ジ140の取付構造を拡大して示す縦断面図である。

20

【0109】

図23に示されるように、第1の法兰ジ146には、第2の流入口170が連通されたL字状の連通孔146aが設けられている。この連通孔146aの端部は、水路150に連通されている。また、第2の流出口174も上記第2の流入口170と同様な構成で水路150に連通されている。

【0110】

水路150は、法兰ジ140の内部に周方向に延在形成されているため、法兰ジ140を冷却することにより、第1の法兰ジ146の段部146bとベース110との間で挟持された石英ベルジャ112の鍔部112aの温度も間接的に冷却している。これにより、石英ベルジャ112の鍔部112aが半径方向に熱膨張することを抑制することができる。

30

【0111】

図23及び図24に示されるように、石英ベルジャ112の鍔部112aの下面には、複数の位置決め孔178が周方向に所定間隔毎に設けられている。この位置決め孔178は、ベース110の上面に螺入されたピン176が嵌合する孔であるが、熱膨張率の大きいベース110が半径方向に熱膨張したときに鍔部112aに負荷がかからないようにピン176の外径よりも大径に形成されている。すなわち、ピン176と位置決め孔178とのクリアランス分だけ石英ベルジャ112の鍔部112aに対するベース110の熱膨張が許容される。

【0112】

40

また、石英ベルジャ112の鍔部112aは、第1の法兰ジ146の段部146bに対して半径方向のクリアランスが設けられているので、この点からもこのクリアランス分だけベース110の熱膨張が許容される。

【0113】

石英ベルジャ112の鍔部112aの下面は、ベース110の上面に装着されたシール部材（Oリング）180によってシールされ、石英ベルジャ112の鍔部112aの上面は、第1の法兰ジ146に装着されたシール部材（Oリング）182によってシールされる。

【0114】

さらに、第1の法兰ジ146及び第2の法兰ジ148の上面は、処理容器22の底部

50

22cに装着されたシール部材(オーリング)184, 186によってシールされる。また、第2のフランジ148の下面は、ベース110の上面に装着されたシール部材(オーリング)188によってシールされる。

【0115】

このように、ベース110とフランジ140との間、及びフランジ140と処理容器22の底部22cとの間は、夫々2重シール構造になっており、どれか一つのシール部材が破損しても他のシール部材によってシールすることができるので、処理容器22とヒータ部24との間のシール構造に対する信頼性がより高められている。

【0116】

例えば、石英ベルジャ112が割れた場合、あるいは鍔部112aにひび割れが生じた場合、鍔部112aよりも外側に配置されたシール部材180によって石英ベルジャ112内部の気密性が確保され、処理容器22内のガスが外部に流出することが阻止される。

10

【0117】

あるいは、ヒータ部24に近い方のシール部材180, 182が劣化した場合でも、ヒータ部24よりも離れた位置に装着された外側のシール部材186, 188によって処理容器22とベース110との間のシール性能が維持されるため、経年変化によるガス漏れも防止できる。

【0118】

図21に示されるように、SiCヒータ114は、石英ベルジャ112の内部空間113において、熱反射部材116の上面に載置されており、且つベース110の上面に起立する複数のクランプ機構190によって所定高さに保持されている。

20

【0119】

このクランプ機構190は、熱反射部材116の下面に当接する外筒190aと、外筒190aを貫通してSiCヒータ114の上面に当接する軸190bと、軸190bに対して外筒190aを押圧するコイルバネ192とを有する。

【0120】

そして、クランプ機構190は、コイルバネ192のバネ力でSiCヒータ114及び熱反射部材116を挟持する構成になっているため、例えば、運搬時の振動が入力された場合でもSiCヒータ114及び熱反射部材116が石英ベルジャ112に接触しないように保持することが可能になる。また、上記コイルバネ192のバネ力が常に作用することで、熱膨張によるねじのゆるみも防止されており、SiCヒータ114及び熱反射部材116はがたつきの無い安定状態に保持される。

30

【0121】

また、各クランプ機構190は、ベース110に対してSiCヒータ114及び熱反射部材116の高さ位置を任意の位置に調整できるように構成されており、複数のクランプ機構190の高さ位置調整によってSiCヒータ114及び熱反射部材116の水平に保持することが可能になる。

40

【0122】

さらに、石英ベルジャ112の内部空間113には、SiCヒータ114の各端子とベース110に挿通された電源ケーブル接続用端子166a～166fとを電気的に接続するための接続部材194a～194f(但し、図21には接続部材194a, 194cが図示してある)取り付けられている。

【0123】

図25はクランプ機構190の上端部の取付構造を拡大して示す縦断面図である。

図25に示されるように、クランプ機構190は、熱反射部材116の挿通孔116a及びSiCヒータ114の挿通孔114eに挿通された軸190bの上端に螺入されたナット193を締め付けることで、ワッシャ195を介してL字状ワッシャ197, 199を軸方向に押圧してSiCヒータ114を挟持する。

【0124】

SiCヒータ114は、挿通孔114eにL字状ワッシャ197, 199の円筒部197

50

a、199aが挿入され、円筒部197a,199a内にクランプ機構190の軸190bが挿通される。そして、L字状ワッシャ197,199の鍔部197b,199bがSiCヒータ114の上面,下面に当接する。

【0125】

クランプ機構190の軸190bは、上記コイルバネ192のバネ力により下方に付勢され、且つクランプ機構190の外筒190aは、上記コイルバネ192のバネ力により上方に付勢されている。このように、コイルバネ192のバネ力がクランプ力として作用するため、熱反射部材116及びSiCヒータ114は、安定的に保持され、運搬時の振動による破損が防止される。

【0126】

SiCヒータ114の挿通孔114eは、L字状ワッシャ197a,197bの円筒部197c,197dよりも大径であり、クリアランスが設けられている。そのため、SiCヒータ114の発熱によって生じる熱膨張により挿通孔114eと軸190bとの位置が相対変位した場合、挿通孔114eはL字状ワッシャ197,199の鍔部197b,199bに当接したまま水平方向にずれることが可能になり、熱膨張に伴う応力の発生が防止される。

【0127】

(3)ここで、SiCヒータ114について説明する。

図26に示されるように、SiCヒータ114は、中心部に円形状に形成された第1の発熱部114aと、第1の発熱部114aの外周を囲むように円弧状に形成された第2、第3の発熱部114b,114cとから構成されている。また、SiCヒータ114の中心には、保持部材120の軸120dが挿通される挿通孔114dが設けられている。

10

20

【0128】

発熱部114a～114cは、夫々ヒータ制御回路196に並列に接続されており、温度調整器198によって設定された任意の温度に制御される。ヒータ制御回路196では、電源200から発熱部114a～114cに供給される電圧を制御することによりSiCヒータ114から放射される発熱量を制御する。

【0129】

また、発熱部114a～114cによって容量が異なると、電源200の負担が増大するため、本実施例では、各発熱部114a～114cの容量(2KW)が同一になるように抵抗が設定されている。

30

【0130】

ヒータ制御回路196は、発熱部114a～114cを同時に通電して発熱させる制御方法Iと、被処理基板Wの温度分布状況に応じて中心の第1の発熱部114aあるいは外側の第2、第3の発熱部114b,114cの何れか一方を発熱させる制御方法IIと、被処理基板Wの温度変化に応じて発熱部114a～114cを同時に発熱させたり、第1の発熱部114aあるいは第2、第3の発熱部114b,114cの何れかを発熱させたりする制御方法IIIを選択することができる。

【0131】

被処理基板Wは、上記保持部材120により保持された状態で回転しながら各発熱部114a～114cの発熱により加熱される際、外周側と中心部分との温度差によって周縁部分が上方に反ることがある。しかしながら、本実施例では、SiCヒータ114は、熱伝導率が良いSiCセラミック118を介して被処理基板Wを加熱するため、被処理基板Wの全体がSiCヒータ114からの熱で加熱され、被処理基板Wの周縁部分と中心部分との温度差を小さく抑えられて、被処理基板Wが反ることを防止する。

40

【0132】

(4)ここで、石英ベルジャ112の構成について詳細に説明する。

図27は石英ベルジャ112の構成を示す図であり、(A)は平面図、(B)は縦断面図である。図28は石英ベルジャ112の構成を示す図であり、(A)は上方からみた斜視図、(B)は下方からみた斜視図である。

50

【0133】

図27(a)(b)及び図28(A)(B)に示されるように、石英ベルジャ112は、透明な石英により形成されており、前述した鍔部112aの上方に形成された円筒部112bと、円筒部112bの上方を覆う天板112cと、天板112cの中央より下方に延在する中空部112dと、鍔部112aの内側に形成される開口に横架された補強のための梁部112eとを有する。

【0134】

鍔部112a及び天板112cは、荷重を受けるので、円筒部112bよりも厚く形成されている。また、石英ベルジャ112は、縦方向に延在する中空部112dと横方向に延在する梁部112eとが内部で交差しているため、上下方向及び半径方向の強度が高められている。10

【0135】

また、梁部112eの中間位置には、中空部112dの下端部分が結合されており、中空部112d内の挿通孔112fは梁部112eも貫通している。この挿通孔112fには、保持部材120の軸120dが挿通される。

【0136】

そして、石英ベルジャ112の内部空間113には、前述したSiCヒータ114及び熱反射部材116が挿入される。また、SiCヒータ114及び熱反射部材116は、円盤状に形成されているが、円弧状に分割可能な構成であり、梁部112eを避けて内部空間113に挿入された後に組み立てられる。20

【0137】

さらに、石英ベルジャ112の天板112cには、SiCサセプタ118を支持するためのボス112g～112iが3箇所(120度間隔)に突出している。そのため、ボス112g～112iに支持されたSiCサセプタ118は、天板112cから僅かに浮いた状態に載置される。そのため、処理容器22の内部圧力が変化したり、あるいは温度変化が生じることによりSiCサセプタ118が下方に変動した場合でも、天板112cに接触することが防止される。

【0138】

また、石英ベルジャ112の内部圧力は、後述するように処理容器22のプロセス空間84の圧力と差が50 Torr以下になるように減圧システムによる排気流量の制御を行うため、石英ベルジャ112の肉厚を比較的薄く製作することが可能になる。これにより、天板112cの厚さを6～10mm程度に薄くすることができるので、石英ベルジャ112の熱容量が小さくなつて加熱時の熱伝導効率を高めることにより応答性を向上させることができくなる。尚、本実施例の石英ベルジャ112は、100 Torrの圧力に耐える強度を有するように設計されている。30

【0139】

図29は減圧システムの排気系統の構成を示す系統図である。

図29に示されるように、処理容器22のプロセス空間84は、前述したようにバルブ48aの開弁により排気口74に連通された排気経路32を介してターボ分子ポンプ50の吸引力により減圧される。さらに、ターボ分子ポンプ50の排気口に接続された真空管路51の下流は、排気されたガスを吸引するポンプ(MBP)201に連通されている。40

【0140】

石英ベルジャ112の内部空間113は、排気管路202を介してバイパス管路51aに接続され、回転駆動部28のケーシング122により画成された内部空間124は、排気管路204を介してバイパス管路51aに接続されている。

【0141】

排気管路202には、内部空間113の圧力を測定する圧力計205と、石英ベルジャ112の内部空間113を減圧する際に開弁されるバルブ206とが設けられている。また、バイパス管路51aには、前述したようにバルブ48bが設けられ、且つバルブ48bをバイパスする分岐管路208が設けられている。この分岐管路208には、減圧工程の50

初期段階に開弁されるバルブ 210 と、バルブ 48b よりも流量を絞るための可変絞り 211 とが設けられている。

【0142】

また、ターボ分子ポンプ 50 の排気側には、開閉用のバルブ 212 と、排気側の圧力を測定する圧力計 214 とが設けられている。そして、ターボ軸バージ用の N₂ ラインがターボ分子ポンプ 50 に連通されたターボ管路 216 には、逆止弁 218、絞り 220、バルブ 222 が設けられている。

【0143】

尚、上記バルブ 206, 210, 212, 222 は、電磁弁からなり、制御回路からの制御信号により開弁する。

10

【0144】

上記のように構成された減圧システムでは、処理容器 22、石英ベルジャ 112、回転駆動部 28 の減圧工程を行う場合、一気に減圧するのではなく、段階的に減圧して徐々に真空に近づけるように減圧させる。

【0145】

まず、石英ベルジャ 112 の排気管路 202 に設けられたバルブ 206 を開弁することで石英ベルジャ 112 の内部空間 113 とプロセス空間 84との間が排気経路 32 を介して連通状態となり、圧力の均一化が行われる。これにより、減圧工程の開始段階での石英ベルジャ 112 の内部空間 113 とプロセス空間 84 との間の圧力差が小さくなる。

【0146】

次に上記分岐管路 208 に設けられたバルブ 210 を開弁させて可変絞り 211 により絞られた小流量による減圧を行う。その後、バイパス管路 51a に設けられたバルブ 48b を開弁させて排気流量を段階的に増大させる。

20

【0147】

また、圧力計 205 により測定された石英ベルジャ 112 の圧力と、センサユニット 85 の圧力計 85a ~ 85c により測定されたプロセス空間 84 の圧力を比較し、両圧力の差が 50 Torr 以下であるとき、バルブ 48b を開弁させる。これにより、減圧工程において、石英ベルジャ 112 にかかる内外の圧力差を緩和して石英ベルジャ 112 に不要な応力が作用しないように減圧工程を行う。

【0148】

そして、所定時間経過後にバルブ 48a を開弁させてターボ分子ポンプ 50 の吸引力による排気流量を増大させて処理容器 22、石英ベルジャ 112、回転駆動部 28 の内部を真空になるまで減圧する。

30

【0149】

(5) ここで、上記保持部材 120 の構成について説明する。

図 30 は保持部材 120 の構成を示す図であり、(A) は平面図、(B) は側面図である。

【0150】

図 30 (A) (B) に示されるように、保持部材 120 は、被処理基板 W を支持する腕部 120a ~ 120c と、腕部 120a ~ 120c が結合された軸 120d とから構成されている。腕部 120a ~ 120c は、プロセス空間 84 におけるコンタミネーションを防止し、且つ SiC サセプタ 118 からの熱を遮蔽しないようにするために、透明石英により形成されており、軸 120d の上端を中心軸として 120 度間隔で水平方向に放射状に延在している。

40

【0151】

さらに、腕部 120a ~ 120c の長手方向の中間位置には、被処理基板 W の下面に当接するボス 120e ~ 120g が突出している。そのため、被処理基板 W は、ボス 120e ~ 120g が当接する 3 点で支持される。

【0152】

このように、保持部材 120 は、点接触で被処理基板 W を支持する構成であるので、Si

50

Cサセプタ118に対して僅かな距離で離間した位置に被処理基板Wを保持することができる。尚、SiCサセプタ118と被処理基板Wとの離間距離は、例えば、1~20mmであり、望ましくは3~10mm程度が良い。

【0153】

すなわち、被処理基板Wは、SiCサセプタ118の上方に浮いた状態で回転することになり、直接SiCサセプタ118に載置される場合よりもSiCサセプタ118からの熱が均一に放射され、周縁部分と中心部分の温度差が生じにくく、温度差による被処理基板Wの反りも防止される。

【0154】

被処理基板Wは、SiCサセプタ118から離間した位置に保持されているので、温度差によって反りが生じてもSiCサセプタ118に接触せず、定常時の温度均一化に伴って元の水平状態に復帰することが可能になる。

【0155】

また、保持部材120の軸120dは、不透明石英により棒状に形成されており、上記SiCサセプタ118及び石英ベルジャ112の挿通孔112fに挿通されて下方に延在する。このように、保持部材120は、プロセス空間84内で被処理基板Wを保持するものであるが、石英により形成されているので、金属製のものよりもコンタミネーションのおそれがない。

【0156】

(6)ここで、上記回転駆動部28の構成について詳細に説明する。

図31はヒータ部24の下方に配置された回転駆動部28の構成を示す縦断面図である。

図32は回転駆動部28を拡大して示す縦断面図である。

【0157】

図31及び図32に示されるように、ヒータ部24のベース110の下面に回転駆動部28を支持するためのホルダ230が締結されている。このホルダ230には、回転位置検出機構232と、ホルダ冷却機構234とが設けられている。

【0158】

さらに、ホルダ230の下方には、保持部材120の軸120dが挿通固定されたセラミック軸126が挿入されており、セラミック軸126を回転可能に支持するセラミック軸受236, 237を保持する固定側のケーシング122がボルト240により固定されている。

【0159】

ケーシング122内においては、回転部分がセラミック軸126とセラミック軸受236, 237とから構成されているので、金属のコンタミネーションが防止されている。

【0160】

ケーシング122は、ボルト240が挿通されるフランジ242と、フランジ238より下方に延在形成的された有底筒状の隔壁244とを有する。隔壁244の外周面には、前述した減圧システムの排気管路204が連通される排気ポート246が設けられており、ケーシング122の内部空間124の気体は、前述した減圧システムによる減圧工程において、排気されて減圧される。そのため、プロセス空間84内のガスが保持部材120の軸120dに沿って外部に流出することが防止される。

【0161】

さらに、内部空間124には、マグネットカップリング130の従動側マグネット248が収納されている。この従動側マグネット248は、コンタミネーションを防止するため、セラミック軸126の外周に嵌合されたマグネットカバー250に覆われておらず、内部空間124内の気体と接触しないように取り付けられている。

【0162】

マグネットカバー250は、アルミ合金により環状に形成されたカバーであり、内部に収納する環状の空間が形成されている。内にがたつきの無い状態に収納されている。また、マグネットカバー250の継ぎ目部分は、電子ビーム溶接により隙間無く結合されており

10

20

30

40

50

、口ウ付け等のように銀が流出してコンタミネーションが生じることがないように加工されている。

【0163】

さらに、ケーシング122の外周には、筒状に形成された大気側回転部252が嵌合するよう設けられており、軸受254, 255を介して回転可能に支持されている。そして、大気側回転部252の内周には、マグネットカップリング130の駆動側マグネット256が取り付けられている。

【0164】

大気側回転部252は、下端部252aが伝達部材257を介してモータ128の駆動軸128aが結合されている。そのため、モータ128の回転駆動力は、大気側回転部252に設けられた駆動側マグネット256とケーシング122の内部に設けられた従動側マグネット248との間の磁力を介してセラミック軸126に伝達され、保持部材120及び被処理基板Wに伝達される。

【0165】

また、大気側回転部252の外側には、大気側回転部252の回転を検出する回転検出ユニット258が設けられている。この回転検出ユニット258は、大気側回転部252の下端部外周に取り付けられた円盤状のスリット板260, 261と、スリット板260, 261の回転量を光学的に検出するフォトインタラプタ262, 263とから構成されている。

【0166】

フォトインタラプタ262, 263は、ブラケット264により固定側のケーシング122に固定されている。そして、回転検出ユニット258では、一対のフォトインタラプタ262, 263から回転速度に応じたパルスが同時に検出されるので、両パルスを比較することにより回転検出精度を高めることができる。

【0167】

図33はホルダ冷却機構234の構成を示す図であり、(A)は横断面図、(B)は側面図である。

図33(A)(B)に示されるように、ホルダ冷却機構234は、ホルダ230の内部に周方向に延在する冷却水用の水路230aが形成されている。そして、水路230aの一端に冷却水供給ポート230bが連通され、水路230aの他端に冷却水排出ポート230cが連通されている。

【0168】

冷却水供給部46から供給された冷却水は、冷却水供給ポート230bから水路230aを通過した後、冷却水排出ポート230cから排出されるため、ホルダ230全体を冷却することができる。

【0169】

図34は回転位置検出機構232の構成を示す横断面図である。

図34に示されるように、ホルダ230の一方の側面には、発光素子266が取り付けられ、ホルダ230の他方の側面には、発光素子266からの光を受光する受光素子268が取り付けられている。

【0170】

また、ホルダ230の中央には、保持部材120の軸120dが挿通される中央孔230dが上下方向に貫通しており、この中央孔230dに交差するように横方向に貫通する貫通孔230e, 230fが設けられている。

【0171】

発光素子266は、一方の貫通孔230eの端部に挿入され、受光素子268は、他方の貫通孔230fの端部に挿入されている。貫通孔230eと230fとの間に、軸120dが挿通されているため、軸120dの回転位置を受光素子268の出力変化から検出することが可能になる。

【0172】

10

20

30

40

50

(7) ここで、回転位置検出機構232の構成及び作用について詳細に説明する。

図35は回転位置検出機構232の構成及び作用を説明するための図であり、(A)は非検出状態を示す図、(B)は検出状態を示す図である。

【0173】

図35(A)に示されるように、保持部材120の軸120dは、外周に接線方向の面取り加工が施されている。この面取り部120iは、発光素子266と受光素子268との中間位置に回動したとき、発光素子266から発光された光と平行になる。

【0174】

このとき、発光素子266からの光は、面取り部120iの横を通過して受光素子268に照射される。これにより、受光素子268の出力信号Sはオンになり、回転位置判定回路270に供給される。

【0175】

図35(B)に示されるように、保持部材120の軸120dが回動して面取り部120iの位置が中間位置からずれると、発光素子266からの光は、軸120dに遮断され、回転位置判定回路270への出力信号Sはオフになる。

【0176】

図36回転位置検出機構232の信号波形図であり、(A)は受光素子268の出力信号Sの波形図、(B)は回転位置判定回路270から出力されるパルス信号Pの波形図である。

【0177】

図36(A)に示されるように、受光素子268は、軸120dの回動位置によって発光素子266からの光の受光量(出力信号S)が放物線状に変化する。回転位置判定回路270では、この出力信号Sに対する閾値Hを設定することで、出力信号Sが閾値H以上になったときにパルスPを出力する。

【0178】

このパルスPが保持部材120の回動位置を検出した検出信号として出力される。すなわち、回転位置判定回路270は、図10に示されるように、保持部材120の腕部120a～120cが昇降アーム132の当接ピン138a～138cに干渉せず、且つ搬送口ボット98のロボットハンドと干渉しない位置にあることを判定し、その検出信号(パルスP)を出力する。

【0179】

(8) ここで、上記回転位置判定回路270から出力された検出信号(パルスP)に基づいて制御回路が実行する回転位置制御処理について説明する。

図37は制御回路が実行する回転位置制御処理を説明するためのフローチャートである。

【0180】

図37に示されるように、制御回路は、S11において、被処理基板Wの回転を指示する制御信号があると、S12に進み、モータ128を起動させる。続いて、S13に進み、受光素子268の信号がオンかどうかをチェックする。S13で受光素子268の信号がオンであるときは、S14に進み、検出信号(パルスP)の周期から保持部材120及び被処理基板Wの回転数を演算する。

【0181】

続いて、S15に進み、保持部材120及び被処理基板Wの回転数nが予め設定された目標回転naかどうかをチェックする。S15において、保持部材120及び被処理基板Wの回転数nが目標回転naに達していないときは、上記S13に戻り、モータ128の回転数が上昇したかどうかを再度チェックする。

【0182】

また、上記S15において、n = naのときは、保持部材120及び被処理基板Wの回転数nが目標回転naに達しているので、S17に進み、モータ停止の制御信号があるかどうかをチェックする。S17において、モータ停止の制御信号が無いときは、上記S13に戻り、モータ停止の制御信号があるときは、S18に進み、モータ128を停止させる

10

20

30

40

50

。続いて、S 1 9 で受光素子 2 6 8 の信号がオンかどうかをチェックし、受光素子 2 6 8 の信号がオンになるまで繰り返す。

【0 1 8 3】

このようにして、保持部材 1 2 0 の腕部 1 2 0 a ~ 1 2 0 c が昇降アーム 1 3 2 の当接ピン 1 3 8 a ~ 1 3 8 c に干渉せず、且つ搬送ロボット 9 8 のロボットハンドと干渉しない位置に停止させることができる。

【0 1 8 4】

尚、上記回転位置制御処理では、受光素子 2 6 8 からの出力信号の周期から回転数を求める方法を用いた場合について説明したが、例えば前述したフォトインタラプタ 2 6 2 , 2 6 3 から出力された信号を積算して回転数を求ることも可能である。

10

【0 1 8 5】

(9) ここで、処理容器 1 2 2 の側面に形成された窓 7 5 , 7 6 の構成について詳細に説明する。

図 3 8 は窓 7 5 , 7 6 の取付箇所を上方からみた横断面図である。図 3 9 は窓 7 5 を拡大して示す横断面図である。図 4 0 は窓 7 6 を拡大して示す横断面図である。

【0 1 8 6】

図 3 8 及び図 3 9 に示されるように、第 1 の窓 7 5 は、処理容器 1 2 2 の内部に形成されたプロセス空間 8 4 にガスが供給されたり、真空に減圧されるため、気密性がより高められた構成になっている。

【0 1 8 7】

窓 7 5 は、透明石英 2 7 2 と、紫外線を遮断する UV ガラス 2 7 4 とを有する 2 重構造になっている。透明石英 2 7 2 は、窓取り付け部 2 7 6 に当接させた状態で第 1 の窓枠 2 7 8 が窓取り付け部 2 7 6 にビス 2 7 7 でネジ止めされて固定される。窓取り付け部 2 7 6 の外面には、透明石英 2 7 2 との間を気密にシールするシール部材 (O リング) 2 8 0 が装着されている。さらに、第 1 の窓枠 2 7 8 の外面には、UV ガラス 2 7 4 を当接させた状態で第 2 の窓枠 2 8 2 がビス 2 8 4 でネジ止めされて固定される。

20

【0 1 8 8】

このように、窓 7 5 は、紫外線光源 (UV ランプ) 8 6 , 8 7 から照射された紫外線が UV ガラス 2 7 4 によって遮断されてプロセス空間 8 4 の外部に漏れることを防止していると共に、シール部材 2 8 0 のシール効果によってプロセス空間 8 4 に供給されたガスが外部に流出することを防止している。

30

【0 1 8 9】

また、処理容器 2 2 の側面を貫通する開口 2 8 6 は、処理容器 2 2 の中央、すなわち保持部材 1 2 0 に保持された被処理基板 W の中心に向かうように斜めに貫通している。そのため、窓 7 5 は、処理容器 2 2 の側面中心から外れた位置に設けられているが、横方向に広く見えるように橜円形状に形成されており、被処理基板 W の状態を外部から視認することができる。

【0 1 9 0】

また、第 2 の窓 7 6 は、上記窓 7 5 と同様な構成になっており、透明石英 2 9 2 と、紫外線を遮断する UV ガラス 2 9 4 とを有する 2 重構造になっている。透明石英 2 9 2 は、窓取り付け部 2 9 6 に当接させた状態で第 1 の窓枠 2 9 8 が窓取り付け部 2 9 6 にビス 2 9 7 でネジ止めされて固定される。窓取り付け部 2 9 6 の外面には、透明石英 2 9 2 との間を気密にシールするシール部材 (O リング) 3 0 0 が装着されている。さらに、第 1 の窓枠 2 9 8 の外面には、UV ガラス 2 9 4 を当接させた状態で第 2 の窓枠 3 0 2 がビス 3 0 4 でネジ止めされて固定される。

40

【0 1 9 1】

このように、窓 7 6 は、紫外線光源 (UV ランプ) 8 6 , 8 7 から照射された紫外線が UV ガラス 2 9 4 によって遮断されてプロセス空間 8 4 の外部に漏れることを防止していると共に、シール部材 3 0 0 のシール効果によってプロセス空間 8 4 に供給されたガスが外部に流出することを防止している。

50

【0192】

尚、本実施例では、処理容器22の側面に一対の窓75, 76を配置した構成を一例として説明したが、これに限らず、3個以上の窓を設けるようにしても良いし、あるいは側面以外の場所に設けるようにしても良いのは勿論である。

【0193】

(10)ここで、石英ライナ100を構成する各ケース102, 104, 106, 108について説明する。

図9及び図10に示されるように、石英ライナ100は、下部ケース102、側面ケース104、上部ケース106、円筒状ケース108とを組み合わせた構成になっており、夫々が不透明石英により形成されており、アルミ合金製の処理容器22をガスや紫外線から保護すると共に、処理容器22による金属のコンタミネーションを防止することを目的として設けられている。 10

【0194】

図41(A)(B)は下部ケース102の構成を示す図であり、(A)は平面図、(B)は側面図である。

図41(A)(B)に示されるように、下部ケース102は、輪郭形状が処理容器22の内壁形状に対応した板状に形成されており、その中央にはSiCサセプタ118及び被処理基板Wに対向する円形開口310が形成されている。この円形開口310は、円筒状ケース108が挿入可能な寸法に形成されており、内周には保持部材120の腕部120a～120cの先端部を挿入するための凹部310a～310cが120度間隔で設けられている。 20

【0195】

尚、凹部310a～310cの位置は、保持部材120の腕部120a～120cが昇降アーム132の当接ピン138a～138cに干渉せず、且つ搬送口ボット98のロボットハンドと干渉しない位置である。

【0196】

また、下部ケース102には、処理容器22の底部に形成された排気口74に対向する長方形形状の開口312が設けられている。さらに、下部ケース102は、下面に位置決め用の突起314a, 314bが非対称位置に設けられている。

【0197】

また、上記円形開口310の内周には、後述する円筒状ケース108の突起が嵌合するための凹部310dが形成されている。さらに、下部ケース102の周縁部には、側面ケース104に嵌合する段部315が設けられている。 30

【0198】

図42は側面ケース104の構成を示す図であり、(A)は平面図、(B)は正面図、(C)は背面図、(D)は左側面図、(E)は右側面図である。

図42(A)～(E)に示されるように、側面ケース104は、外形状が処理容器22の内壁形状に対応した四隅がR形状とされた略四角形の枠形状に形成されており、内側にプロセス空間84が形成される。

【0199】

また、側面ケース104は、正面104aに前述したガス噴射ノズル部93の複数の噴射口93aに対向するように横方向に延在された細長形状のスリット316と、リモートプラズマ部27に連通される連通孔92に対向する位置に設けられたU字状の開口317とが設けられている。尚、本実施例では、スリット316と開口317とが連通した構成になっているが、夫々独立した開口として形成することも可能である。 40

【0200】

また、側面ケース104は、背面104bに前述した搬送口ボット98のロボットハンドが通過するための凹部318が搬送口94に対向する位置に形成されている。

【0201】

また、側面ケース104は、左側面104cに前述したセンサユニット85に対向する円 50

形の孔 319 が形成され、右側面 104d に前述した窓 75, 76 と、センサユニット 77 に対向する孔 320 ~ 322 が形成されている。

【0202】

図 43 は上部ケース 106 の構成を示す図であり、(A) は底面図、(B) は側面図である。

図 43 (A) (B) に示されるように、上部ケース 106 は、輪郭形状が処理容器 22 の内壁形状に対応した板状に形成されており、紫外線光源 (UV ランプ) 86, 87 に対向する位置に長方形形状の開口 324, 325 が形成されている。さらに、上部ケース 106 の周縁部には、側面ケース 104 に嵌合する段部 326 が設けられている。

【0203】

また、上部ケース 106 は、蓋部材 82 の形状に対応する円形孔 327 ~ 329、及び長方形の四角孔 330 が設けられている。

【0204】

図 44 は円筒状ケース 108 の構成を示す図であり、(A) は平面図、(B) は側面縦断面図、(C) は側面図である。

図 44 (A) ~ (C) に示されるように、円筒状ケース 108 は、石英ベルジャ 112 の外周を覆うように筒状に形成されており、上端縁部には昇降アーム 132 の当接ピン 138a ~ 138c が挿入される凹部 108a ~ 108c が設けられている。さらに、円筒状ケース 108 は、上端部の外周に下部ケース 102 の凹部 310d が嵌合する位置合わせ用の突起 108d が形成されている。

【0205】

(11) ここで、リフタ機構 30 のシール構造について説明する。

図 45 はリフタ機構 30 を拡大して示す縦断面図である。図 46 はリフタ機構 30 のシール構造拡大して示す縦断面図である。

【0206】

図 45 及び図 46 に示されるように、リフタ機構 30 は、駆動部 136 により昇降軸 134 を昇降させてチャンバ 80 内に挿入された昇降アーム 132 を昇降させる際、チャンバ 80 の貫通孔 80a 内に挿入された昇降軸 134 の外周が蛇腹形状のベローズ 332 により覆われており、チャンバ 80 内でのコンタミネーションを防止するように構成されている。

【0207】

ベローズ 332 は、蛇腹部分が伸縮可能な形状になっており、例えばインコネルやハスティロイなどにより形成されている。また、貫通孔 80a は、昇降軸 134 が挿通された蓋部材 340 により閉塞されている。

【0208】

さらに、昇降軸 134 の上端がボルト 334 により締結される昇降アーム 132 の連結部材 336 には、円筒形状のセラミックカバー 338 が嵌合固定されている。このセラミックカバー 338 は、連結部材 336 より下方に延在形成されるため、ベローズ 332 の周囲を覆うことによりチャンバ 80 内で直接露出されないように設けられている。

【0209】

そのため、ベローズ 332 は、プロセス空間 84 において、昇降アーム 132 を上昇させる際に上方に伸びてしまい、セラミックにより形成された円筒状カバー 338 により覆われている。よって、ベローズ 332 は、貫通孔 80a に昇降可能に挿入された円筒状カバー 338 によりプロセス空間 84 のガスや熱に直接晒されることなく、ガスや熱による劣化を防止されている。

【0210】

(12) 以下に、基板処理装置 20 を使って行う被処理基板 W 表面の紫外光ラジカル酸化処理、およびその後に行われるリモートプラズマラジカル窒化処理について説明する。

〔紫外光ラジカル酸化処理〕

図 47 (A) は、それぞれ図 2 の基板処理装置 20 を使って被処理基板 W のラジカル酸化

10

20

30

40

50

を行う場合を示す側面図および平面図、図47(B)は図47(A)の構成を示す平面図である。

図47(A)に示されるように、前記プロセス空間84中にはガス噴射ノズル部93から酸素ガスが供給され、被処理基板Wの表面に沿って流れた後、排気口74、ターボ分子ポンプ50およびポンプ201を通って排気される。ターボ分子ポンプ50を使うことにより、前記プロセス空間84のプロセス圧が、基板Wの酸素ラジカルによる酸化に必要な $10^{-3} \sim 10^{-6}$ Torrの範囲に設定される。

【0211】

これと同時に、好ましくは172nmの波長の紫外光を発生する紫外線光源86, 87を駆動することにより、このようにして形成された酸素ガス流中に酸素ラジカルが形成される。形成された酸素ラジカルは前記被処理基板Wの表面に沿って流れる際に、回動している基板表面を酸化する。このような被処理基板Wの酸素ラジカルによる酸化により、シリコン基板表面に1nm以下の膜厚の非常に薄い酸化膜、特に2~3原子層に相当する約0.4nmの膜厚の酸化膜を、安定に再現性良く形成することが可能になる。

【0212】

図47(B)に示されるように、紫外線光源86, 87は酸素ガス流の方向に交差する方向に延在する管状の光源であり、ターボ分子ポンプ50が排気口74を介してプロセス空間84を排気するのがわかる。一方、前記排気口74から直接にポンプ50に至る、図47(B)中に点線で示した排気経路は、バルブ48bを閉鎖することにより遮断されている。

【0213】

図48は、図2の基板処理装置20において図47(A), (B)の工程によりシリコン基板表面にシリコン酸化膜を、基板温度を450℃に設定し、紫外光照射強度および酸素ガス流量あるいは酸素分圧を様々に変化させながら形成した場合の、膜厚と酸化時間との関係を示す。ただし図48の実験ではラジカル酸化に先立ってシリコン基板表面の自然酸化膜を除去し、また場合によっては基板表面に残留する炭素を紫外光励起窒素ラジカル中において除去し、さらにAr雰囲気中、約950℃における高温熱処理を行うことにより、基板表面を平坦化している。また前記紫外線光源86, 87としては、波長が172nmのエキシマランプを使った。

【0214】

図48を参照するに、系列1のデータは、紫外光照射強度を紫外光源24Bの窓面における基準強度(50mW/cm²)の5%に設定し、プロセス圧を665mPa(5mTorr), 酸素ガス流量を30SCCMに設定した場合の酸化時間と酸化膜厚との関係を、系列2のデータは紫外光強度をゼロに設定し、プロセス圧を133Pa(1Torr), 酸素ガス流量を3SLMに設定した場合の酸化時間と酸化膜厚との関係を示す。また系列3のデータは紫外光強度をゼロに設定し、プロセス圧を2.66Pa(20mTorr), 酸素ガス流量を150SCCMに設定した場合の酸化時間と酸化膜厚との関係を示し、系列4のデータは紫外光照射強度を100%, すなわち前記基準強度に設定し、プロセス圧を2.66Pa(20mTorr), 酸素ガス流量を150SCCMに設定した場合の酸化時間と酸化膜厚との関係を示す。さらに系列5のデータは紫外光照射強度を基準強度の20%に設定し、プロセス圧を2.66Pa(20mTorr), 酸素ガス流量を150SCCMに設定した場合の酸化時間と酸化膜厚との関係を示し、系列6のデータは、紫外光照射強度を基準強度の20%に設定し、プロセス圧を約67Pa(0.5Torr), 酸素ガス流量を0.5SLMに設定した場合の酸化時間と酸化膜厚との関係を示す。さらに系列7のデータは、紫外光照射強度を基準強度の20%に設定し、プロセス圧を665Pa(5Torr)に、酸素ガス流量を2SLMに設定した場合の酸化時間と酸化膜厚との関係を、系列8のデータは、紫外光照射強度を基準強度の5%に設定し、プロセス圧を2.66Pa(20mTorr), 酸素ガス流量を150SCCMに設定した場合の酸化時間と酸化膜厚との関係を示す。

【0215】

10

20

30

40

50

図48の実験において、酸化膜の膜厚はXPS法により求めているが、このように1nmを下回る非常に薄い酸化膜の膜厚を求める統一された方法は、現時点では存在しない。

【0216】

そこで本発明の発明者は、図49に示す観測された Si_{2p} 軌道のXPSスペクトルに対してバックグラウンド補正および $3/2$ と $1/2$ スピン状態の分離補正を行い、その結果得られた図50に示す $\text{Si}_{2p}^{3/2}$ XPSスペクトルをもとに、Lu他(Z. H. Lu, et al., Appl. Phys. Lett. 71 (1997), pp.2764)の教示に従って、式(1)に示す式および係数を使って酸化膜の膜厚dを求めた。

$$d = \sin^{-1} \cdot \ln [I^{x+} / (I^{0+}) + 1] \quad (1)$$

$$= 2.96$$

$$= 0.75$$

10

ただし式(1)においては図55に示すXPSスペクトルの検出角であり、図示の例では 30° に設定されている。また数1中、 I^{x+} は酸化膜に対応するスペクトルピークの積分強度($I^{1x} + I^{2x} + I^{3x} + I^{4x}$)であり、図50中、 $102\sim104\text{eV}$ のエネルギー領域において見られるピークに対応している。一方、 I^{0+} は 100eV 近傍のエネルギー領域に対応した、シリコン基板に起因するスペクトルピークの積分強度に対応する。

【0217】

再び図48を参照するに、紫外光照射パワー、従って形成される酸素ラジカル密度が小さい場合(系列1, 2, 3, 8)には、最初は酸化膜の酸化膜厚が0nmであったものが、酸化時間と共に酸化膜厚が徐々に増加し続けるのに対し、紫外光照射パワーを基準強度の20%以上に設定した系列4, 5, 6, 7では、図51に概略的に示すように酸化膜成長が成長開始後、およそ 0.4nm の膜厚に到達した時点で停留し、ある程度の停留時間が経過した後、急激に成長が再開されるのが認められる。

20

【0218】

図48あるいは図51の関係は、シリコン基板表面の酸化処理において、 0.4nm 前後の膜厚の非常に薄い酸化膜を、安定して形成できることを意味している。また、図48に見られるように、かかる停留時間がある程度継続することから、形成される酸化膜は、一様な厚さを有することがわかる。すなわち、本発明によれば、約 0.4nm の厚さの酸化膜をシリコン基板上に、一様な厚さに形成することが可能になる。

30

【0219】

図52(A), (B)は、かかるシリコン基板上への薄い酸化膜の形成過程を概略的に示す。これらの図では、シリコン(100)基板上の構造を極めて単純化していることに注意すべきである。

【0220】

図52(A)を参照するに、シリコン基板表面には、シリコン原子1個あたり2個の酸素原子が結合し、1原子層の酸素層が形成されている。この代表的な状態では、基板表面のシリコン原子は基板内部の2つのシリコン原子と基板表面の二つの酸素原子により配位され、サブオキサイドを形成している。

30

【0221】

これに対し、図52(B)の状態ではシリコン基板最上部のシリコン原子は4つの酸素原子により配位されており、安定な Si^{4+} の状態をとる。これが理由で、図52(A)の状態では速やかに酸化が進み、図52(B)の状態になって酸化が停留するものと考えられる。図52(B)の状態における酸化膜の厚さは約 0.4nm であり、これは図48において観測される停留状態における酸化膜厚と良く一致する。

40

【0222】

図50のXPSスペクトルにおいて、酸化膜厚が 0.1nm あるいは 0.2nm の場合に $101\sim104\text{eV}$ のエネルギー範囲において見られる低いピークが図52(A)のサブオキサイドに対応し、酸化膜厚が 0.3nm を超えた場合にこのエネルギー領域に表れるピークが Si^{4+} に起因するもので、1原子層を超える酸化膜の形成を表しているものと考えられる。

50

【0223】

このような0.4nmの膜厚における酸化膜厚の停留現象は、図47(A),(B)のUV₂ラジカル酸化プロセスに限定されるものではなく、同様に薄い酸化膜が精度よく形成できる酸化膜形成方法であれば、同じように見られるものであると考えられる。

【0224】

図52(B)の状態からさらに酸化を継続すると、酸化膜の厚さは再び増大する。

【0225】

図53は、このように基板処理装置20を使った図47(A),(B)の紫外光ラジカル酸化プロセスにより形成された酸化膜上に厚さが0.4nmのZrSiO_x膜と電極膜とを形成し(後で説明する図54(B)を参照)、得られた積層構造に対して求めた熱酸化膜換算膜厚T_eqとリーク電流I_gとの関係を示す。ただし、図53のリーク電流特性は、前記電極膜とシリコン基板との間にフラットバンド電圧V_{fb}を基準に、V_{fb}-0.8Vの電圧を印加した状態で測定している。比較のため、図53中には熱酸化膜のリーク電流特性をも示してある。また図示している換算膜厚は、酸化膜とZrSiO_x膜を合わせた構造についてのものである。

10

【0226】

図53を参照するに、酸化膜を省略した場合、すなわち酸化膜の膜厚が0nmの場合にはリーク電流密度が熱酸化膜のリーク電流密度を超えており、また熱酸化膜換算膜厚T_eqも約1.7nm程度の比較的大きな値になることがわかる。

【0227】

20

これに対し、酸化膜の膜厚を0nmから0.4nmまで増大させると、熱酸化膜換算膜厚T_eqの値が減少をはじめるのがわかる。このような状態では酸化膜がシリコン基板とZrSiO_x膜との間に介在することになり、物理膜厚は実際には増大するはずなのに換算膜厚T_eqは減少しているが、これはシリコン基板上にZrO₂膜を直接に形成した場合、図54(A)に示すようにZrのシリコン基板中への拡散あるいはSiのZrSiO_x膜中への拡散が大規模に生じ、シリコン基板とZrSiO_x膜との間に厚い界面層が形成されていることを示唆している。これに対し、図54(B)に示すように厚さが0.4nmの酸化膜を介在させることにより、このような界面層の形成が抑制され、結果として換算膜厚が減少するものと考えられる。これに伴って、リーク電流の値も酸化膜の厚さと共に減少するのがわかる。ただし図54(A),(B)は、このようにして形成された試料の概略的な断面を示しており、シリコン基板441上に酸化膜442が形成され、酸化膜442上にZrSiO_x膜443が形成されている構造を示している。

30

【0228】

一方、前記酸化膜の膜厚が0.4nmを超えると、熱酸化膜換算膜厚の値は再び増大をはじめ。酸化膜の膜厚が0.4nmを超えた範囲においては、膜厚の増大と共にリーク電流の値も減少しており、換算膜厚の増大は酸化膜の物理膜厚の増大に起因するものであると考えられる。

【0229】

40

このように、図48で観測された酸化膜の成長が停留する0.4nm付近の膜厚は、酸化膜と高誘電体膜とよりなる系の換算膜厚の最小値に対応しており、図52(B)に示す安定な酸化膜により、Zr等の金属元素のシリコン基板中への拡散が効果的に阻止されること、またこれ以上酸化膜の厚さを増大させても、金属元素の拡散阻止効果はそれほど高まらないことがわかる。

【0230】

さらに0.4nmの厚さの酸化膜を使った場合のリーク電流の値は、対応する厚さの熱酸化膜のリーク電流の値よりも二桁ほど小さく、このような構造の絶縁膜をMOSトランジスタのゲート絶縁膜に使うことにより、ゲートリーク電流を最小化できることがわかる。

【0231】

また、図48あるいは図51で説明した酸化膜成長の0.4nmにおける停留現象の結果、図55(A)に示すようにシリコン基板441上に形成された酸化膜442に当初膜厚

50

の変化ないし凹凸が存在していても、酸化膜成長の際に膜厚の増大が図55(B)に示すように0.4nmの近傍において停留するため、停留期間内で酸化膜成長を継続することにより、図55(C)に示す非常に平坦な、一様な膜厚の酸化膜442を得ることができる。

【0232】

先にも説明したように、非常に薄い酸化膜に対しては、現状では統一された膜厚測定方法が存在しない。このため、図55(C)の酸化膜442の膜厚値自体は、測定方法で異なる可能性がある。しかし、先に説明した理由から、酸化膜成長に停留が生じる厚さは、2原子層分の厚さであることがわかっており、従って、好ましい酸化膜442の膜厚は、約2原子層分の厚さであると考えられる。この好ましい厚さには、2原子層分の厚さが酸化膜442全体にわたり確保されるように、部分的に3原子層分の厚さの領域が形成されている場合も含まれる。すなわち、好ましい酸化膜442の厚さは、実際には2~3原子層の範囲であると考えられる。10

〔リモートプラズマラジカル窒化処理〕

図56は、基板処理装置20において使われるリモートプラズマ部27の構成を示す。図56に示されるように、リモートプラズマ部27は、内部にガス循環通路27aとこれに連通したガス入り口27bおよびガス出口27cを形成された、典型的にはアルミニウムよりなるブロック27Aを含み、前記ブロック27Aの一部にはフェライトコア27Bが形成されている。20

【0233】

前記ガス循環通路27aおよびガス入り口27b、ガス出口27cの内面にはフッ素樹脂コーティング27dが施され、前記フェライトコア27Bに巻回されたコイルに周波数が400kHzの高周波を供給することにより、前記ガス循環通路27a内にプラズマ27Cが形成される。20

【0234】

プラズマ27Cの励起に伴って、前記ガス循環通路27a中には窒素ラジカルおよび窒素イオンが形成されるが、窒素イオンは前記循環通路27aを循環する際に消滅し、前記ガス出口27cからは主に窒素ラジカルN₂*が放出される。さらに図56の構成では前記ガス出口27cに接地されたイオンフィルタ27eを設けることにより、窒素イオンをはじめとする荷電粒子が除去され、前記プロセス空間84には窒素ラジカルのみが供給される。また、前記イオンフィルタ27eを接地させない場合においても、前記イオンフィルタ27eの構造は拡散板として作用し、十分に窒素イオンをはじめとする荷電粒子を除去することが可能になる。30

【0235】

図57は、リモートプラズマ部27により形成されるイオンの数と電子エネルギーの関係を、マイクロ波プラズマ源の場合と比較して示す。

図57に示されるように、マイクロ波によりプラズマを励起した場合には窒素分子のイオン化が促進され、多量の窒素イオンが形成されることになる。これに対し500kHz以下の高周波によりプラズマを励起した場合には、形成される窒素イオンの数が大幅に減少する。マイクロ波によりプラズマ処理を行う場合には、図58に示すように1.33×10⁻³~1.33×10⁻⁶Pa(10⁻¹~10⁻⁴Torr)の高真空が必要になるが、高周波プラズマ処理は、13.3~13.3kPa(0.1~100Torr)の比較的高い圧力で実行可能である。40

【0236】

以下の表1は、マイクロ波によりプラズマを励起する場合と、高周波によりプラズマを励起する場合との間での、イオン化エネルギー変換効率、放電可能圧力範囲、プラズマ消費電力、プロセスガス流量の比較を示す。

【0237】

【表1】

| | イオン化工エネルギー変換効率 | 放電可能圧力範囲 | プラズマ消費電力 | プロセスガス流量 |
|--------|----------------|--------------|----------|-----------|
| Micro波 | 1.00E-02 | 0.1m~0.1Torr | 1~500W | 0~100sccm |
| RF波 | 1.00E-07 | 0.1~100Torr | 1~10kW | 0.1~10slm |

10

表1を参照するに、イオン化工エネルギー変換効率は、マイクロ波励起の場合に約 1×10^{-2} 程度であるのに対し、RF励起の場合、約 1×10^{-7} まで減少しており、また放電可能圧力はマイクロ波励起の場合 $0.1\text{mTorr} \sim 0.1\text{Torr}$ ($133\text{mPa} \sim 13.3\text{Pa}$)程度であるのに対し、RF励起の場合には、 $0.1 \sim 100\text{Torr}$ ($13.3\text{Pa} \sim 13.3\text{kPa}$)程度であることがわかる。これに伴い、プラズマ消費電力はRF励起の場合の方がマイクロ波励起の場合よりも大きく、プロセスガス流量は、RF励起の場合の方がマイクロ波励起の場合よりもはるかに大きくなっている。

20

【0238】

基板処理装置20では、酸化膜の窒化処理を窒素イオンではなく窒素ラジカル N_2^* で行つており、このため励起される窒素イオンの数は少ない方が好ましい。また被処理基板に加えられるダメージを最小化する観点からも、励起される窒素イオンの数は少ないので好ましい。さらに基板処理装置20では、励起される窒素ラジカルの数も少なく、高誘電体ゲート絶縁膜下の非常に薄い、せいぜい2~3原子層程度の厚さしかないベース酸化膜を窒化するのに好適である。

【0239】

図59(A), (B)は、それぞれ基板処理装置20を使って被処理基板Wのラジカル窒化を行う場合を示す側面図および平面図である。

30

図59(A), (B)に示されるように、リモートプラズマ部27にはArガスと窒素ガスが供給され、プラズマを数 100kHz の周波数で高周波励起することにより窒素ラジカルが形成される。形成された窒素ラジカルは前記被処理基板Wの表面に沿って流れ、前記排気口74およびポンプ201を介して排気される。その結果前記プロセス空間84は、基板Wのラジカル窒化に適当な、 $1.33\text{Pa} \sim 13.3\text{kPa}$ ($0.01 \sim 100\text{Torr}$)の範囲のプロセス圧に設定される。このようにして形成された窒素ラジカルは、前記被処理基板Wの表面に沿って流れる際に、被処理基板Wの表面を窒化する。

【0240】

図59(A), (B)の窒化工程では、窒化工程に先立つバージ工程では前記バルブ48aおよび212が開放され、バルブ48aが閉鎖されることで前記プロセス空間84の圧力が $1.33 \times 10^{-1} \sim 1.33 \times 10^{-4}\text{Pa}$ の圧力まで減圧され、プロセス空間84中に残留している酸素や水分がバージされるが、その後の窒化処理ではバルブ48aおよび212は閉鎖され、ターボ分子ポンプ50はプロセス空間84の排気経路には含まれない。

40

【0241】

このように、基板処理装置20を使うことにより、被処理基板Wの表面に非常に薄い酸化膜を形成し、その酸化膜表面をさらに窒化することが可能になる。

【0242】

図60(A)は、基板処理装置20によりSi基板上に熱酸化処理により 2.0nm の厚さに形成された酸化膜を、リモートプラズマ部27を使って、表2に示す条件で窒化した

50

場合の前記酸化膜中における窒素濃度分布を示し、図60(B)は、同じ酸化膜中における窒素濃度分布と酸素濃度分布との関係を示す。

【0243】

【表2】

| | 窒素流量 | Ar流量 | プラズマ電力 | 圧力 | 温度 |
|--------|--------|------|--------|----------|------|
| Micro波 | 15sccm | - | 120W | 8.6mTorr | 500C |
| RF波 | 50sccm | 2slm | 2kW | 1Torr | 700C |

10

表2を参照するに、基板処理装置20を使ったRF窒化処理の際には、前記プロセス空間84中に窒素を50SCCMの流量で、またArを2SLMの流量で供給し、窒化処理は1Torr(133Pa)の圧力下で行われるが、窒化処理開始前に一旦プロセス空間84の内圧を 10^{-6} Torr(1.33×10^{-4} Pa)程度まで減圧し、内部に残留している酸素あるいは水分を十分にバージしている。このため、前記1Torr程度の圧力で行われる窒化処理の際には、プロセス空間84中において残留酸素はArおよび窒素により希釈されており、残留酸素濃度、従って残留酸素の熱力学的な活動度は非常に小さくなっている。

20

【0244】

これに対し、マイクロ波プラズマを使った窒化処理では、窒化処理の際の処理圧力がバージ圧と同程度であり、従ってプラズマ雰囲気中において残留酸素は高い熱力学的な活動度を有するものと考えられる。

【0245】

30

図60(A)を参照するに、マイクロ波励起プラズマにより窒化した場合には酸化膜中に導入される窒素の濃度は限られており、酸化膜の窒化は実質的に進行していないことがわかる。これに対し本実施例のようにRF励起プラズマにより窒化した場合には、酸化膜中において窒素濃度が深さと共に直線的に変化し、表面近傍では20%近い濃度に達していることがわかる。

【0246】

図61は、XPS(X線分光スペクトル)を使って行う図60(A)の測定の原理を示す。

図61を参照するに、シリコン基板411上に酸化膜412を形成された試料には所定の角度で斜めにX線が照射され、励起されたX線スペクトルを検出器DET1, DET2により、様々な角度で検出する。その際、例えば90°の深い検出角に設定された検出器DET1では励起X線の酸化膜412内における行路が短く、従って前記検出器DET1で検出されるX線スペクトルには酸化膜412の下部の情報を多く含まれるに対し、浅い検出角に設定された検出器DET2では、励起X線の酸化膜412中における行路が長く、従って、検出器DET2は主に酸化膜412の表面近傍の情報を検出する。

40

【0247】

図60(B)は、前記酸化膜中における窒素濃度と酸素濃度との関係を示す。ただし図60(B)中、酸素濃度はO1s軌道に対応するX線強度により表されている。

【0248】

図60(B)を参照するに、酸化膜の窒化を本発明のようにRFリモートプラズマで行つ

50

た場合には、窒素濃度の増大に伴って酸素濃度が減少しており、酸化膜中において窒素原子が酸素原子を置き換えていることがわかる。これに対し、酸化膜の窒化をマイクロ波プラズマで行った場合には、このような置換関係は見られず、窒素濃度と共に酸素濃度が低下する関係は見られない。また特に図60(B)においては、マイクロ波窒化により5~6%の窒素を導入した例においては酸素濃度の増加が見られており、これは窒化と共に酸化膜の増膜が起こることを示唆している。このようなマイクロ波窒化に伴う酸素濃度の増加は、マイクロ波窒化が高真空中において行われ、従って処理空間中に残留する酸素あるいは水分が高周波リモートプラズマ窒化の場合のようにArガスや窒素ガスにより希釈されることなく、雰囲気中において高い活動度を有することによるものと考えられる。

【0249】

10

図62は、基板処理装置20において酸化膜を4(0.4nm)および7(0.7nm)の厚さに形成し、これを前記リモートプラズマ部27を使った図59(A),(B)の窒化工程により窒化した場合の窒化時間と膜中の窒素濃度との関係を示す。また図63は、図62の窒化処理に伴う窒素の酸化膜表面への偏析の様子を示す。なお、図62及び図63には、酸化膜を急速熱酸化処理により5(0.5nm)および7(0.7nm)の厚さに形成した場合をも示している。

【0250】

図62を参照するに、膜中の窒素濃度は、いずれの酸化膜であっても窒化処理時間と共に上昇するが、特に紫外光ラジカル酸化により形成された2原子層分に対応する0.4nmの膜厚を有する酸化膜の場合に、あるいはこれに近い0.5nmの膜厚を有する熱酸化膜の場合には、酸化膜が薄いため、同一成膜条件において膜中の窒素濃度が高くなっている。

20

【0251】

図63は図61において検出器DET1およびDET2をそれぞれ30°および90°の検出角に設定して窒素濃度を検出した結果を示す。

図63よりわかるように、図63の縦軸は30°の検出角で得られる膜表面に偏析している窒素原子からのX線スペクトル強度を、90°の検出角で得られる膜全体に分散している窒素原子からのX線スペクトル強度の値で割ったものになっており、これを窒素偏析率と定義する。この値が1以上の場合には、表面への窒素の偏析が生じている。

【0252】

30

図63を参照するに、酸化膜が紫外光励起酸素ラジカル処理により7の膜厚に形成されたものの場合、窒素偏析率が1以上となり、窒素原子は当初表面に偏析し、図1中の酸窒化膜12Aのような状態になっているものと考えられる。また90秒間の窒化処理を行った後では、膜中にはほぼ一様に分布していることがわかる。また他の膜でも、90秒間の窒化処理で、窒素原子の膜中の分布はほぼ一様になることがわかる。

【0253】

図64の実験では、基板処理装置20において、前記紫外光ラジカル酸化処理およびリモートプラズマ窒化処理を、10枚のウェハ(ウェハ#1~ウェハ#10)について繰り返し実行した。図64は、このようにして得られた酸窒化膜のウェハ毎の膜厚変動を示す。ただし図64の結果は、基板処理装置20において紫外線光源86,87を駆動して行う紫外光ラジカル酸化処理の際、XPS測定により求めた酸化膜の膜厚が0.4nmになるように酸化膜を形成し、次いでこのようにして形成された酸化膜を、前記リモートプラズマ部27を駆動して行う窒化処理により、窒素原子を約4%含む酸窒化膜に変換した場合についてのものである。

40

【0254】

図64を参照するに、縦軸は、このようにして得られた酸窒化膜についてエリプソメトリにより求めた膜厚を示すが、図64よりわかるように得られた膜厚はほぼ8(0.8nm)で、一定していることがわかる。

【0255】

図65は、基板処理装置20により膜厚が0.4nmの酸化膜をシリコン基板上に紫外線

50

光源 8 6 , 8 7 を使ったラジカル酸化処理により形成した後、これをリモートプラズマ部 2 7 により窒化した場合の、窒化による膜厚増を調べた結果を示す。

【 0 2 5 6 】

図 6 5 を参照するに、当初（窒化処理を行う前）膜厚が約 0 . 3 8 n m であった酸化膜は、窒化処理により 4 ~ 7 % の窒素原子を導入された時点で膜厚が約 0 . 5 n m まで増大しているのがわかる。一方、窒化処理により窒素原子を約 1 5 % 導入した場合には膜厚は約 1 . 3 n m まで増大しており、この場合には導入された窒素原子が酸化膜を通過してシリコン基板中に侵入し、窒化膜を形成しているものと考えられる。

【 0 2 5 7 】

図 6 5 中には、厚さが 0 . 4 n m の酸化膜中に窒素を一層分だけ導入した理想的なモデル構造についての窒素濃度と膜厚との関係を 10 で示している。

【 0 2 5 8 】

図 6 5 を参照するに、この理想的なモデル構造では、窒素原子導入後の膜厚が約 0 . 5 n m となり、その場合の膜厚の増加は約 0 . 1 n m , 窒素濃度は約 1 2 % となる。このモデルを基準とすると、基板処理装置 2 0 により酸化膜の窒化を行う場合、膜厚増は同程度の 0 . 1 ~ 0 . 2 n m に抑制するのが好ましいことが結論される。またその際に膜中に取り込まれる窒素原子の量は、最大で 1 2 % 程度になると見積もられる。

【 0 2 5 9 】

なお、以上の説明では、基板処理装置 2 0 を使って非常に薄いベース酸化膜を形成する例を説明したが、本発明はかかる特定の実施例に限定されるものではなく、シリコン基板あるいはシリコン層上に高品質の酸化膜、窒化膜あるいは酸窒化膜を、所望の膜厚に形成するのに適用することが可能である。 20

【 0 2 6 0 】

以上、本発明を好ましい実施例について説明したが、本発明は上記の特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した要旨内において様々な変形・変更が可能である。

【 0 2 6 1 】

【 発明の効果 】

上述の如く、請求項 1 記載の本発明によれば、処理空間に挿入された被処理基板を所定温度に加熱する発熱体が、透明石英ケースに収納された構成であるので、発熱体によるコンタミネーションを防止すると共に、被処理基板を保持する透明石英により形成された保持部材を回転させながら発熱体により加熱された加熱板からの熱を被処理基板の全体に放射することができ、これにより被処理基板の温度分布を均一に保ち、被処理基板の反りを抑制することができ、被処理基板の成膜処理を安定、且つ効率良く行えるので、生産性を高めることができる。 30

また、石英透明ケースの上面に発熱体により加熱される S i C 製の加熱板を設けることより、加熱板の上面を保持部材に保持された被処理基板の下面に近接対向させることができ、これにより、熱伝導が向上し、被処理基板を 7 0 0 ° C の温度に加熱できると共に、発熱体に温度差が生じにくくなつて発熱体の割れを防止できる。

【 0 2 6 2 】

また、請求項 2 記載の本発明によれば、処理容器の内部を減圧すると共に、透明ケースの内部空間を減圧することにより、透明ケースの内外圧力差を抑制でき、石英透明ケースに作用する力を軽減した分石英透明ケースの肉厚を薄くして発熱体からの熱伝導効率を高めることができ、生産性を高めることができる。

【 0 2 6 3 】

また、請求項 3 記載の本発明によれば、発熱体の下方に発熱体からの熱を上方に反射する熱反射部材を設けたため、被処理基板の温度分布を均一に保ち、被処理基板の反りを抑制することができ、被処理基板の成膜処理を安定、且つ効率良く行えるので、生産性を高めることができ、生産性を高めることができる。

また、請求項 4 記載の本発明によれば、発熱体及び熱反射部材が、石英透明ケース内に 50

設けられベース上に起立するクランプ機構により挟持されたため、発熱体及び熱反射部を石英透明ケースに接触しないように安定した状態に支持することが可能になる。

【0264】

また、請求項5記載の本発明によれば、処理容器が、前面、後面、左右側面からなるほぼ四角形状を有すると共に、左右側面は処理空間の横幅方向を規定し、処理容器の前面より処理空間内で保持部材に保持された被処理基板に向けてガスを噴射する複数の噴射孔を横幅方向に一列に有するガス噴射部と、処理空間の後面側の下方で処理空間の横幅方向に延在するように設けられ、処理空間の中央で保持された被処理基板を通過したガスを排気する排気口と、を備えたため、保持部材に保持された状態で回転駆動される被処理基板の表面にガスを安定的に供給することができ、被処理基板の成膜処理を安定、且つ効率良く行えるので、生産性を高めることができる。

また、請求項6記載の本発明によれば、処理容器が、処理空間の上方から前記ガス噴射部から噴射されたガス及び保持部材に保持された被処理基板に紫外線を照射する紫外線光源を備えたため、保持部材に保持された状態で回転駆動される被処理基板に照射される紫外線の強度分布を一様にすることができると共に、被処理基板に対する紫外光ラジカル酸化処理を安定化できる。

また、請求項7記載の本発明によれば、紫外線光源が、処理容器の上部に設けられ、処理空間の前面側の半分の領域に紫外線を照射するように配置されたため、紫外光ラジカル酸化処理を安定化できると共に、被処理基板の全域に紫外線光源を配置するよりも紫外線光源の数を減らすことができる。

また、請求項8記載の本発明によれば、石英透明ケースが、円筒部の内部に横架された梁部を有するため、石英透明ケースの強度を高められる。

【0265】

また、本発明によれば、発熱体の下方に熱反射部材を設けることにより、被処理基板の全面を効率良く均一に加熱することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】高誘電体ゲート絶縁膜を有する半導体装置装置の構成を示す図である。

【図2】本発明になる基板処理装置の一実施例の構成を示す正面図である。

【図3】本発明になる基板処理装置の一実施例の構成を示す側面図である。

【図4】図2中A-A線に沿う横断面図である。

【図5】処理容器22の下方に配置された機器の構成を示す正面図である。

【図6】処理容器22の下方に配置された機器の構成を示す平面図である。

【図7】処理容器22の下方に配置された機器の構成を示す側面図である。

【図8】排気経路32の構成を示す図であり、(A)は平面図、(B)は正面図、(C)はB-B線に沿う縦断面図である。

【図9】処理容器22及びその周辺機器を拡大して示す側面縦断面図である。

【図10】蓋部材82を外した処理容器22の内部を上方からみた平面図である。

【図11】処理容器22の平面図である。

【図12】処理容器22の正面図である。

【図13】処理容器22の底面図である。

【図14】図12中C-C線に沿う縦断面図である。

【図15】処理容器22の右側面図である。

【図16】処理容器22の左側面図である。

【図17】紫外線光源86,87の取付構造を拡大して示す縦断面図である。

【図18】ガス噴射ノズル部93の構成を拡大して示す縦断面図である。

【図19】ガス噴射ノズル部93の構成を拡大して示す横断面図である。

【図20】ガス噴射ノズル部93の構成を拡大して示す正面図である。

【図21】ヒータ部24の構成を拡大して示す縦断面図である。

【図22】ヒータ部24を拡大して示す底面図である。

【図23】第2の流入口170及び第2の流出口174の取付構造を拡大して示す縦断面

10

20

30

40

50

図である。

【図24】フランジ140の取付構造を拡大して示す縦断面図である。

【図25】クランプ機構190の上端部の取付構造を拡大して示す縦断面図である。

【図26】SiCヒータ114及びSiCヒータ114の制御系の構成を示す図である。

【図27】石英ペルジャ112の構成を示す図であり、(A)は平面図、(B)は縦断面図である。

【図28】石英ペルジャ112の構成を示す図であり、(A)は上方からみた斜視図、(B)は下方からみた斜視図である。

【図29】減圧システムの排気系統の構成を示す系統図である。

【図30】保持部材120の構成を示す図であり、(A)は平面図、(B)は側面図である。 10

【図31】ヒータ部24の下方に配置された回転駆動部28の構成を示す縦断面図である。

【図32】回転駆動部28を拡大して示す縦断面図である。

【図33】ホルダ冷却機構234の構成を示す図であり、(A)は横断面図、(B)は側面図である。

【図34】回転位置検出機構232の構成を示す横断面図である。

【図35】回転位置検出機構232の構成及び作用を説明するための図であり、(A)は非検出状態を示す図、(B)は検出状態を示す図である。

【図36】回転位置検出機構232の信号波形図であり、(A)は受光素子268の出力信号Sの波形図、(B)は回転位置判定回路270から出力されるパルス信号Pの波形図である。 20

【図37】制御回路が実行する回転位置制御処理を説明するためのフローチャートである。

【図38】窓75,76の取付箇所を上方からみた横断面図である。

【図39】窓75を拡大して示す横断面図である。

【図40】窓76を拡大して示す横断面図である。

【図41】下部ケース102の構成を示す図であり、(A)は平面図、(B)は側面図である。

【図42】側面ケース104の構成を示す図であり、(A)は平面図、(B)は正面図、(C)は背面図、(D)は左側面図、(E)は右側面図である。 30

【図43】上部ケース106の構成を示す図であり、(A)は底面図、(B)は側面図である。

【図44】円筒状ケース108の構成を示す図であり、(A)は平面図、(B)は側面縦断面図、(C)は側面図である。

【図45】リフタ機構30を拡大して示す縦断面図である。

【図46】リフタ機構30のシール構造拡大して示す縦断面図である。

【図47】(A),(B)は、基板処理装置20を使って行われる基板の酸化処理を示すそれぞれ側面図および平面図である。

【図48】基板処理装置20を使って行なわれる基板の酸化処理工程を示す図である。

【図49】本発明で使われるXPSによる膜厚測定方法を示す図である。

【図50】本発明で使われるXPSによる膜厚測定方法を示す別の図である。

【図51】基板処理装置20により酸化膜を形成する際に観測される酸化膜厚成長の停留現象を概略的に示す図である。

【図52】(A),(B)は、シリコン基板表面における酸化膜形成過程を示す図である。

【図53】本発明の第1実施例において得られた酸化膜のリーク電流特性を示す図である。

【図54】(A),(B)は、図53のリーク電流特性の原因を説明する図である。

【図55】(A)～(C)は、基板処理装置20において生じる酸化膜形成工程を示す図 50

である。

【図 5 6】基板処理装置 20において使われるリモートプラズマ源の構成を示す図である。

【図 5 7】R F リモートプラズマとマイクロ波プラズマの特性を比較する図である。

【図 5 8】R F リモートプラズマとマイクロ波プラズマの特性を比較する別の図である。

【図 5 9】(A) , (B)は、基板処理装置 20を使って行われる酸化膜の窒化処理を示すそれぞれ側面図および平面図である。

【図 6 0】(A) , (B)は、R F リモートプラズマで窒化された酸化膜中の窒素濃度と膜厚の関係を、窒化をマイクロ波プラズマで行なった場合と比較して示す図である。

【図 6 1】本発明で使われるX P S の概略を示す図である。 10

【図 6 2】酸化膜のリモートプラズマによる窒化時間と膜中窒素濃度との関係を示す図である。

【図 6 3】酸化膜の窒化時間と、窒素の膜内分布との関係を示す図である。

【図 6 4】酸化膜の窒化処理により形成された酸窒化膜のウェハごとの膜厚変動を示す図である。

【図 6 5】本実施例による酸化膜の窒化処理に伴う膜厚増を示す図である。

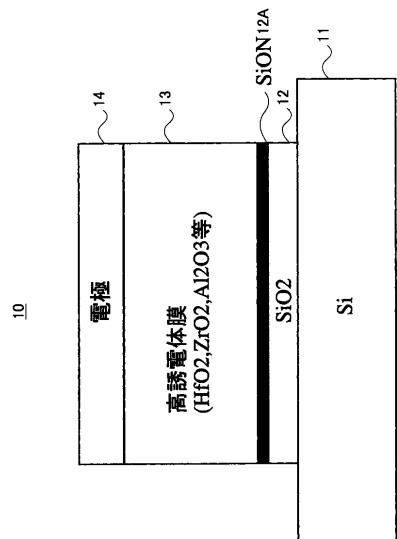
【符号の説明】

| | | |
|---------------|--------------|----|
| 1 0 | 半導体装置 | |
| 1 1 | シリコン基板 | |
| 1 2 | ベース酸化膜 | 20 |
| 1 2 A | 酸窒化膜 | |
| 1 3 , 4 3 | 高誘電体膜 | |
| 1 4 | ゲート電極 | |
| 2 0 | 基板処理装置 | |
| 2 2 | 処理容器 | |
| 2 4 | ヒータ部 | |
| 2 6 | 紫外線照射部 | |
| 2 7 | リモートプラズマ部 | |
| 2 8 | 回転駆動部 | |
| 3 0 | リフタ機構 | 30 |
| 3 2 | 排気経路 | |
| 3 4 | ガス供給部 | |
| 3 6 | フレーム | |
| 4 6 | 冷却水供給部 | |
| 4 8 a , 4 8 b | 排気用バルブ | |
| 5 0 | ターボ分子ポンプ | |
| 5 1 | 真空管路 | |
| 5 2 | 電源ユニット | |
| 5 7 | UVランプコントローラ | |
| 6 6 | ガスボックス | 40 |
| 6 8 | イオングージコントローラ | |
| 7 0 | APCコントローラ | |
| 7 2 | TMPコントローラ | |
| 7 3 | 開口 | |
| 7 4 | 排気口 | |
| 7 5 | 第1の窓 | |
| 7 6 | 第2の窓 | |
| 7 7 , 8 5 | センサユニット | |
| 8 0 | チャンバー | |
| 8 2 | 蓋部材 | 50 |

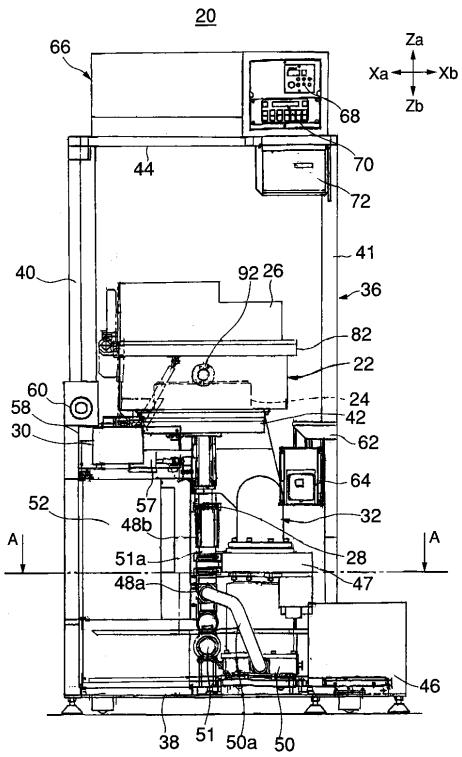
| | | |
|---|-----------------|----|
| 8 4 | プロセス空間 | |
| 8 6 , 8 7 | 紫外線光源(UVランプ) | |
| 8 5 a ~ 8 5 c | 圧力計 | |
| 8 8 | 透明窓 | |
| 9 0 | 供給管路 | |
| 9 2 | 供給口 | |
| 9 3 | ガス噴射ノズル部 | |
| 9 3 b ₁ ~ 9 3 b ₃ | ノズル板 | 10 |
| 9 3 a ₁ ~ 9 3 a _n | 噴射孔 | |
| 9 4 | 搬送口 | |
| 9 6 | ゲートバルブ | |
| 9 7 a | 第1のマスフローコントローラ | |
| 9 7 b | 第2のマスフローコントローラ | |
| 9 8 | 搬送口ボット | |
| 9 9 ₁ ~ 9 9 ₃ | ガス供給管路 | |
| 1 0 0 | 石英ライナ | |
| 1 0 2 | 下部ケース | |
| 1 0 4 | 側面ケース | |
| 1 0 6 | 上部ケース | |
| 1 0 8 | 円筒状ケース | 20 |
| 1 1 0 | ベース | |
| 1 1 2 | 石英ペルジヤ | |
| 1 1 3 | 内部空間 | |
| 1 1 4 | S i Cヒータ | |
| 1 1 6 | 熱反射部材(リフレクタ) | |
| 1 1 8 | S i Cサセプタ(加熱部材) | |
| 1 1 9 | パイロメータ | |
| 1 2 0 | 保持部材 | |
| 1 2 0 a ~ 1 2 0 c | 腕部 | |
| 1 2 0 d | 軸 | 30 |
| 1 2 2 | ケーシング | |
| 1 2 4 | 内部空間 | |
| 1 2 6 | セラミック軸 | |
| 1 2 8 | モータ | |
| 1 3 0 | マグネットカップリング | |
| 1 3 2 | 昇降アーム | |
| 1 3 4 | 昇降軸 | |
| 1 3 6 | 駆動部 | |
| 1 3 8 a ~ 1 3 8 c | 当接ピン | |
| 1 4 2 | 中央孔 | 40 |
| 1 4 4 | 第1の水路 | |
| 1 4 6 | 第1のフランジ | |
| 1 4 8 | 第2のフランジ | |
| 1 5 0 | 第2の水路 | |
| 1 5 2 | 第1の流入管路 | |
| 1 5 4 | 第1の流入口 | |
| 1 5 6 | 流出管路 | |
| 1 5 8 | 第1の流出口 | |
| 1 6 4 | 温度センサ | |
| 1 6 6 a ~ 1 6 6 f | 電源ケーブル接続用端子 | 50 |

| | | |
|-----------------------|-----------|----|
| 1 6 8 | 第 2 の流入管路 | |
| 1 7 0 | 第 2 の流入口 | |
| 1 7 2 | 流出管路 | |
| 1 7 4 | 第 2 の流出口 | |
| 1 9 0 | クランプ機構 | |
| 1 9 2 | コイルバネ | |
| 1 9 4 a ~ 1 9 4 f | 接続部材 | |
| 1 9 6 | ヒータ制御回路 | |
| 1 9 7 , 1 9 9 | L字状ワッシャ | |
| 1 9 8 | 温度調整器 | 10 |
| 2 0 0 | 電源 | |
| 2 0 1 | ポンプ (MBP) | |
| 2 0 2 | 排気管路 | |
| 2 0 4 | 排氣管路 | |
| 2 0 6 , 2 1 0 , 2 1 2 | バルブ | |
| 2 0 8 | 分岐管路 | |
| 2 1 1 | 可変絞り | |
| 2 1 4 | 圧力計 | |
| 2 3 0 | ホルダ | |
| 2 3 2 | 回転位置検出機構 | 20 |
| 2 3 4 | ホルダ冷却機構 | |
| 2 3 6 , 2 3 7 | セラミック軸受 | |
| 2 4 2 | フランジ | |
| 2 4 4 | 隔壁 | |
| 2 4 6 | 排気ポート | |
| 2 4 8 | 従動側マグネット | |
| 2 5 0 | マグネットカバー | |
| 2 5 2 | 大気側回転部 | |
| 2 5 4 , 2 5 5 | 軸受 | |
| 2 5 6 | 駆動側マグネット | 30 |
| 2 5 8 | 回転検出ユニット | |
| 2 6 0 , 2 6 1 | スリット板 | |
| 2 6 2 , 2 6 3 | フォトインタラプタ | |
| 2 6 6 | 発光素子 | |
| 2 6 8 | 受光素子 | |
| 2 7 0 | 回転位置判定回路 | |

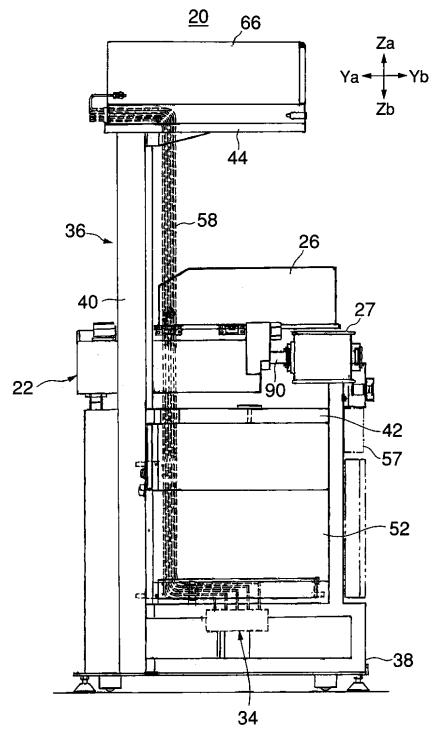
【 図 1 】



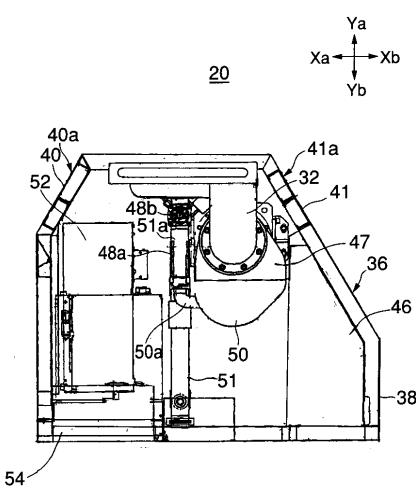
【 図 2 】



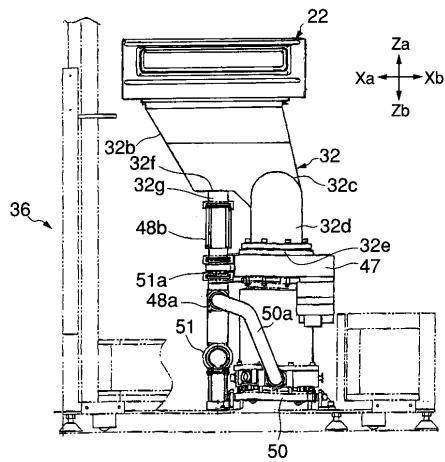
【図3】



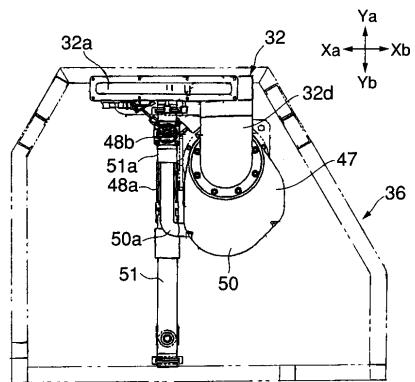
【 図 4 】



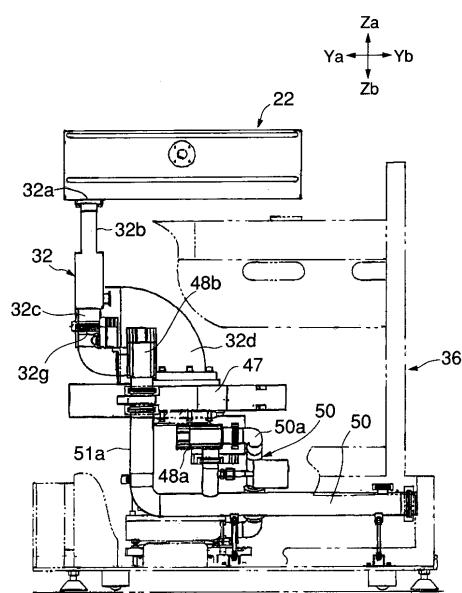
【図5】



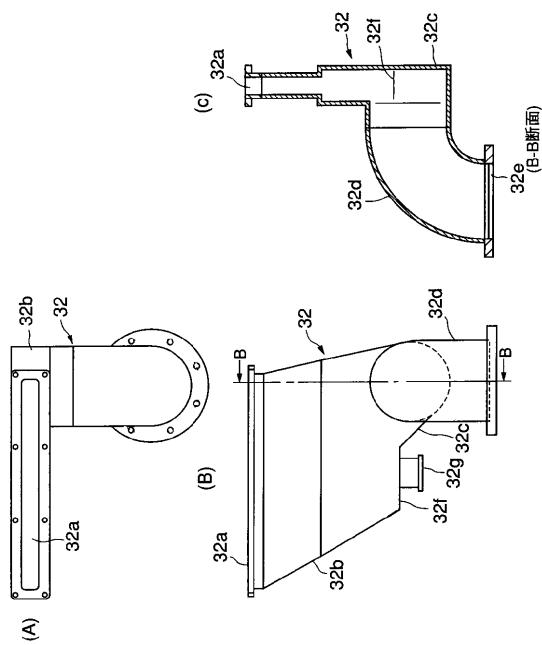
【図6】



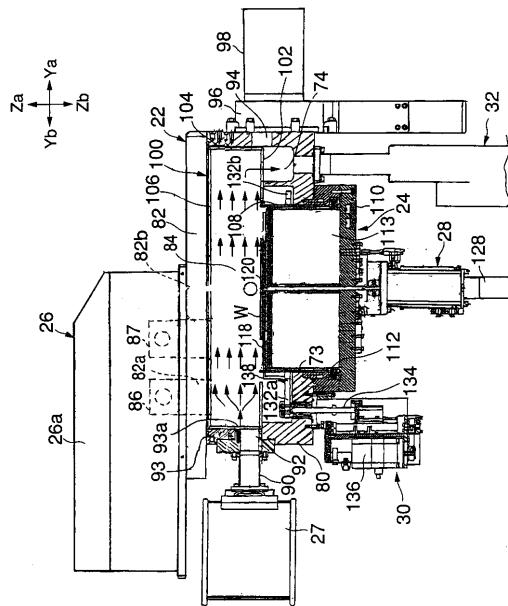
【図7】



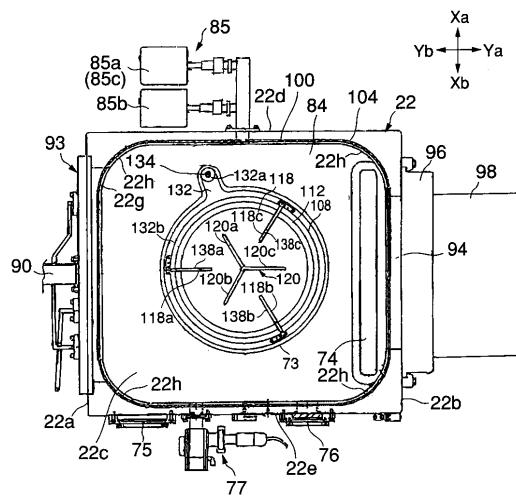
【図8】



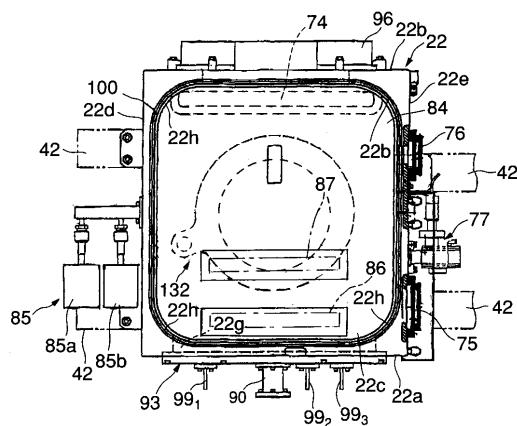
【 図 9 】



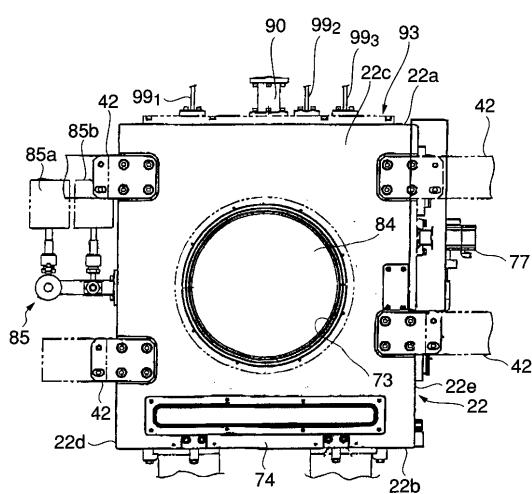
【 図 1 0 】



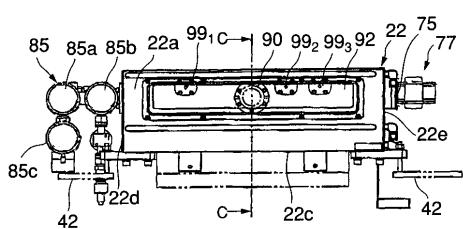
【 図 1 1 】



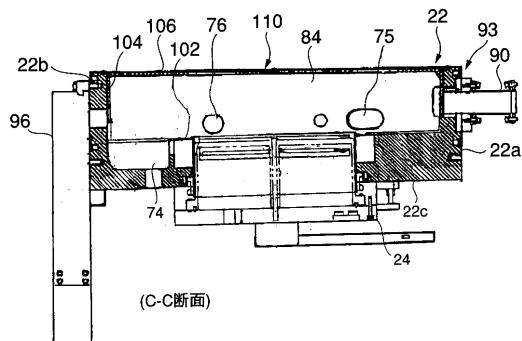
【図13】



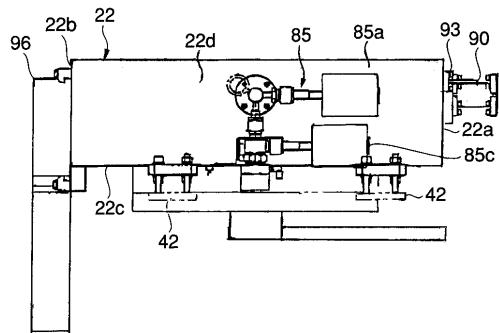
【 図 1 2 】



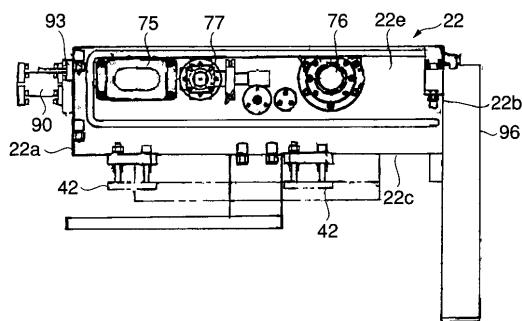
【図14】



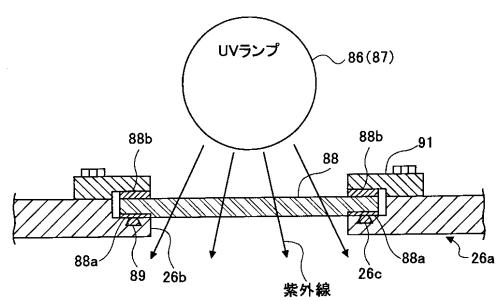
【図16】



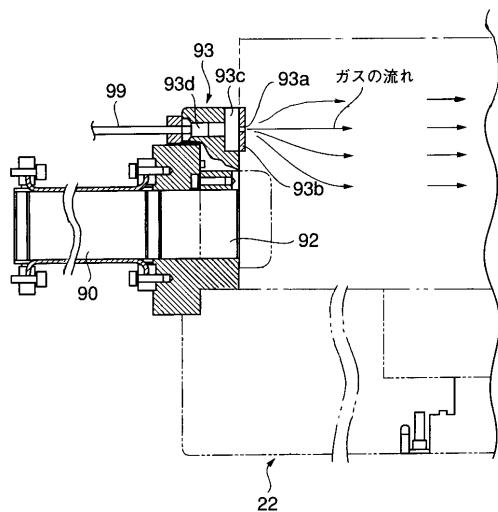
【図15】



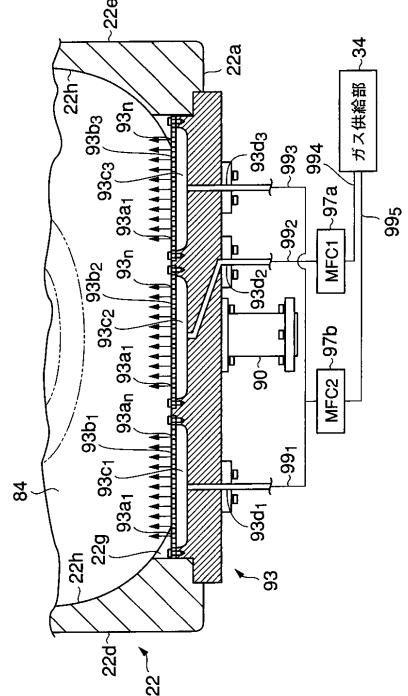
【図17】



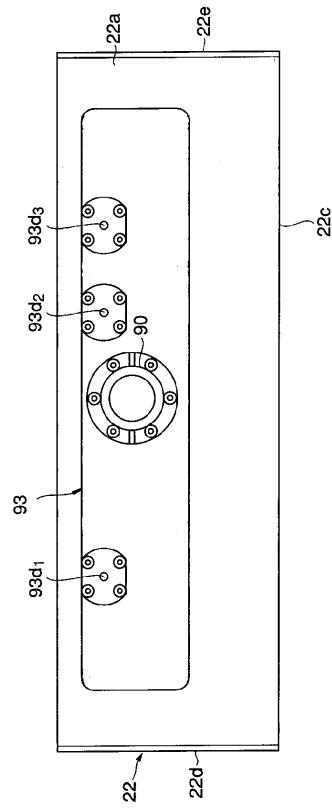
【図18】



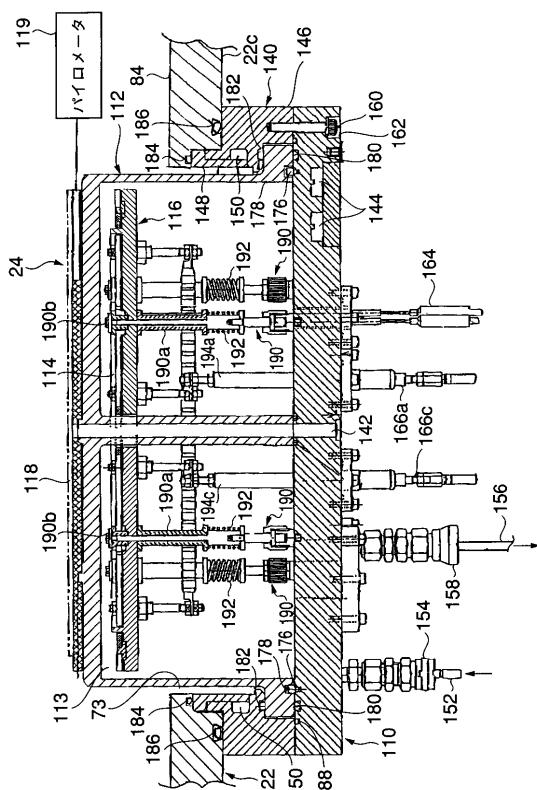
【図19】



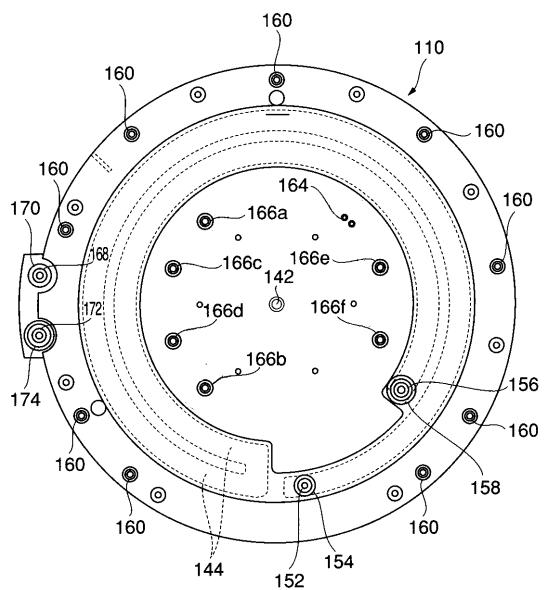
【 図 2 0 】



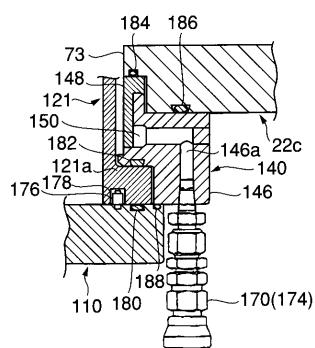
【 図 2 1 】



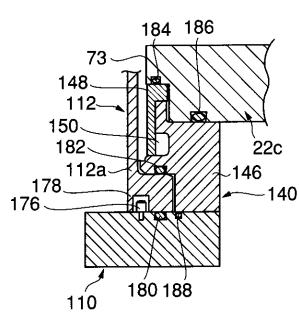
【図22】



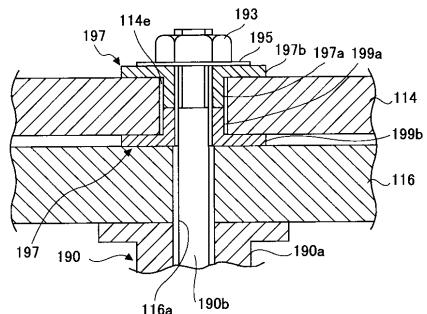
【図23】



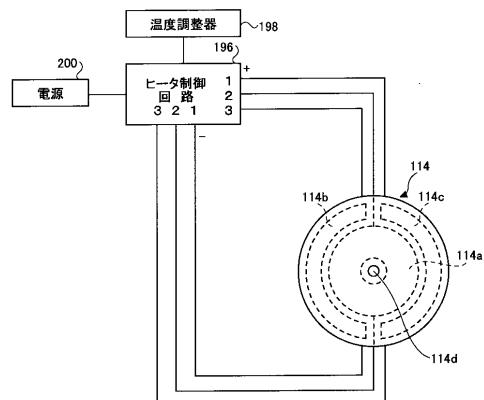
〔 図 24 〕



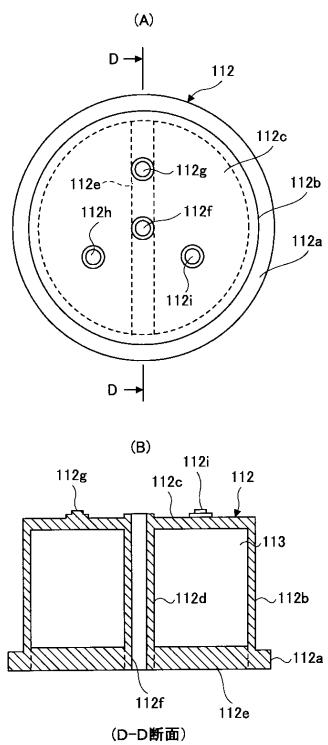
【図25】



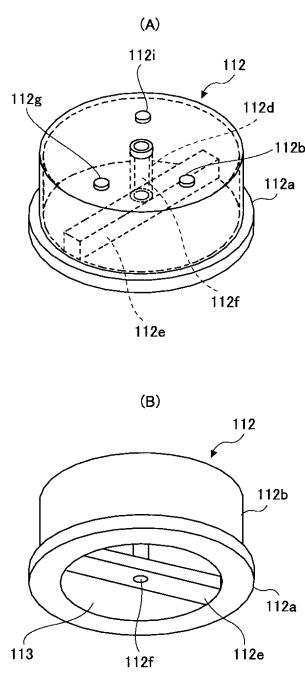
【図26】



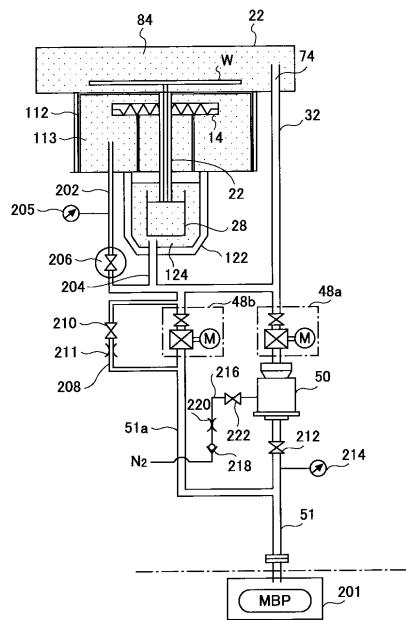
【図27】



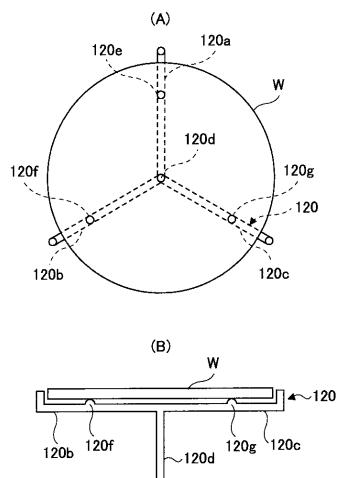
【図28】



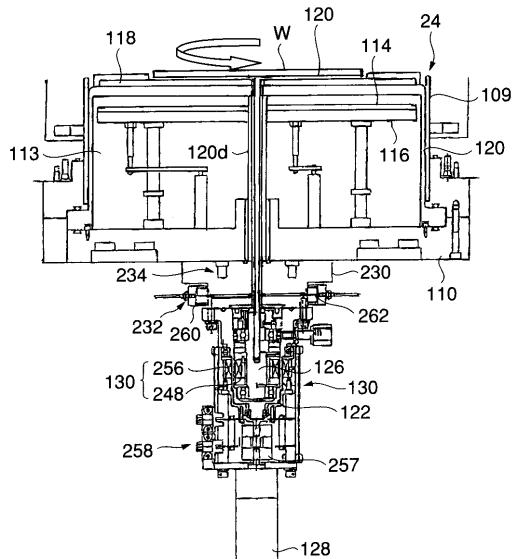
【図29】



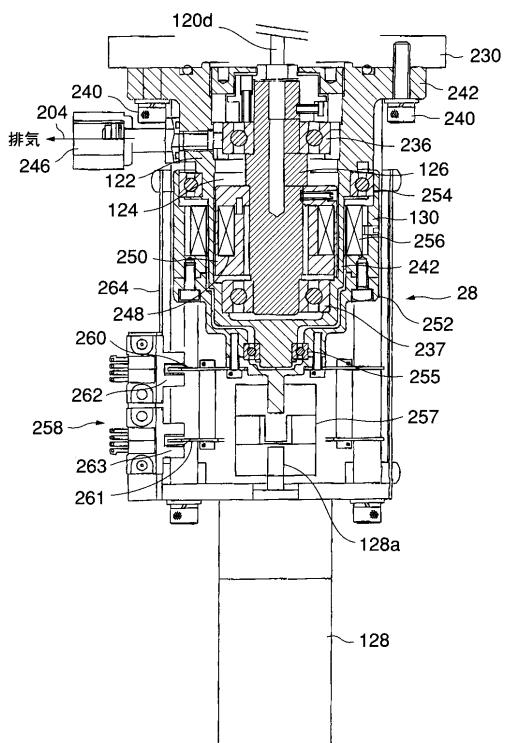
【図30】



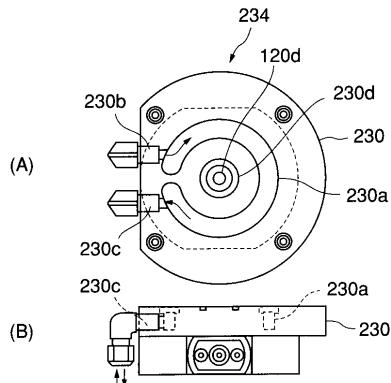
【図31】



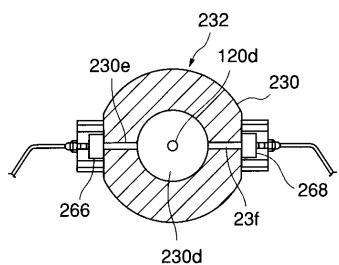
【図32】



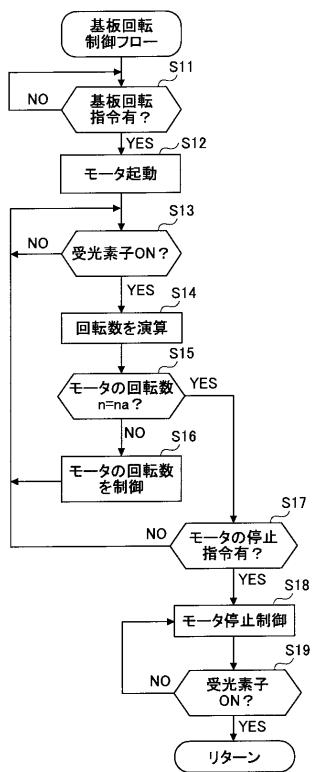
【図33】



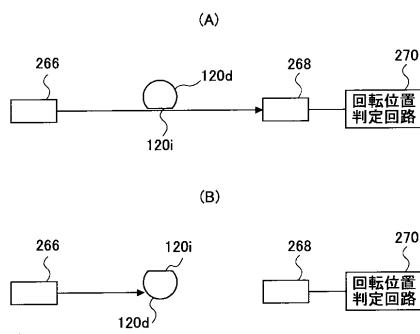
【図3-4】



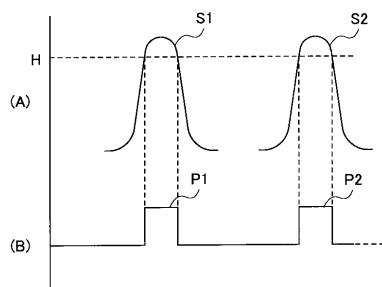
【図37】



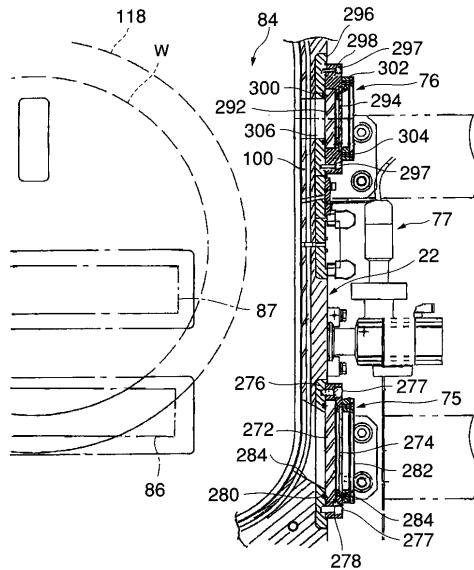
【 図 3 5 】



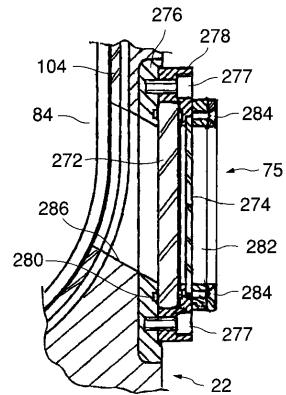
【図36】



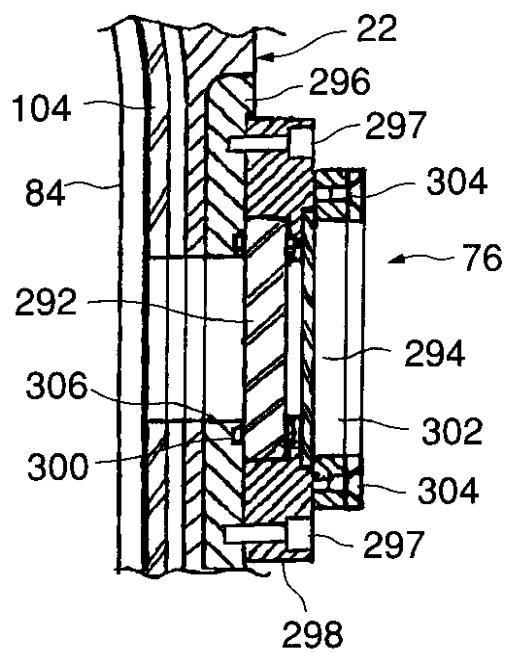
【 図 3 8 】



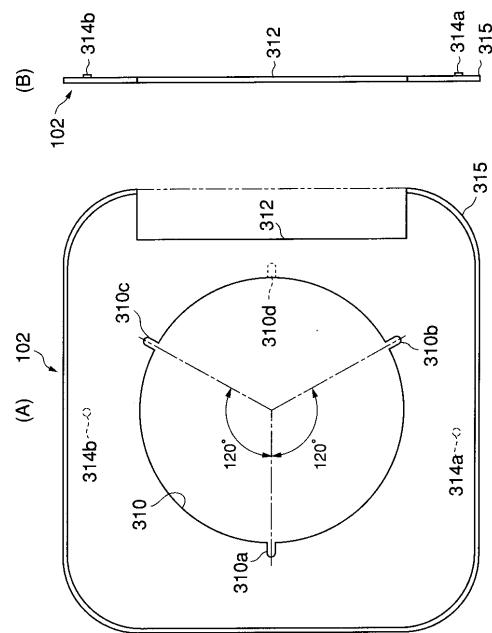
【図39】



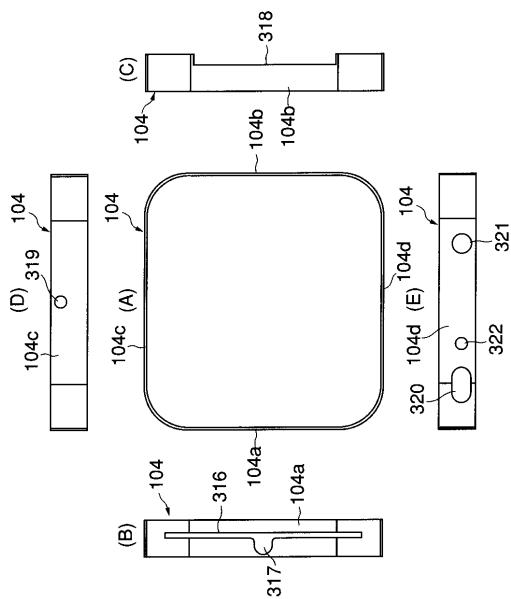
【図40】



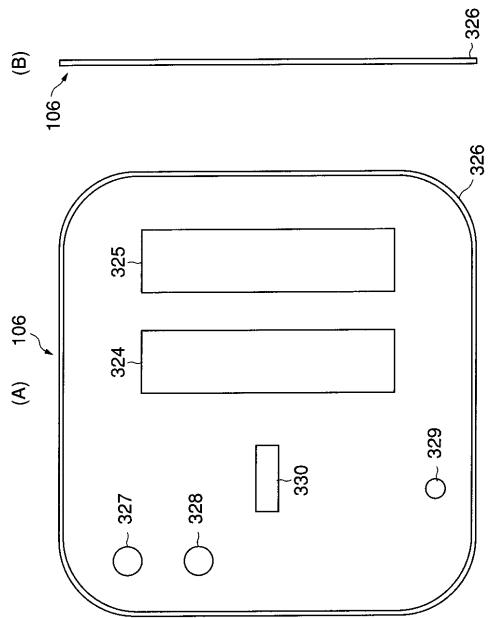
【図41】



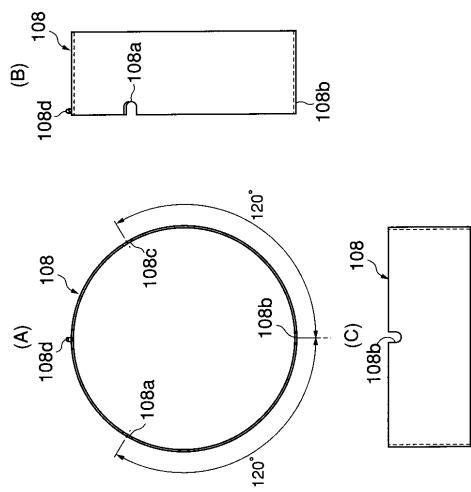
【図42】



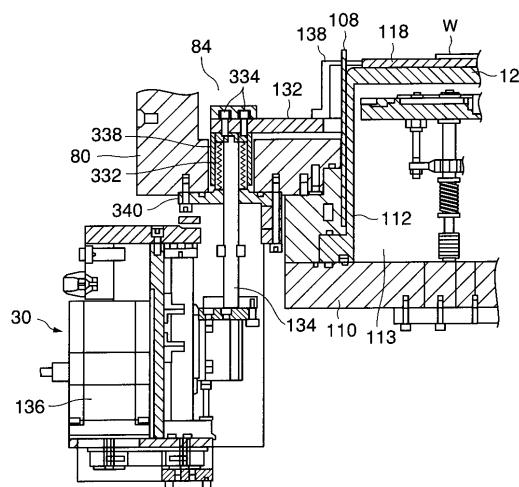
【図43】



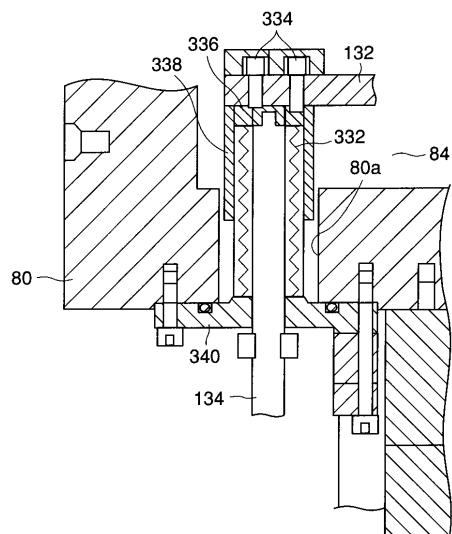
【図44】



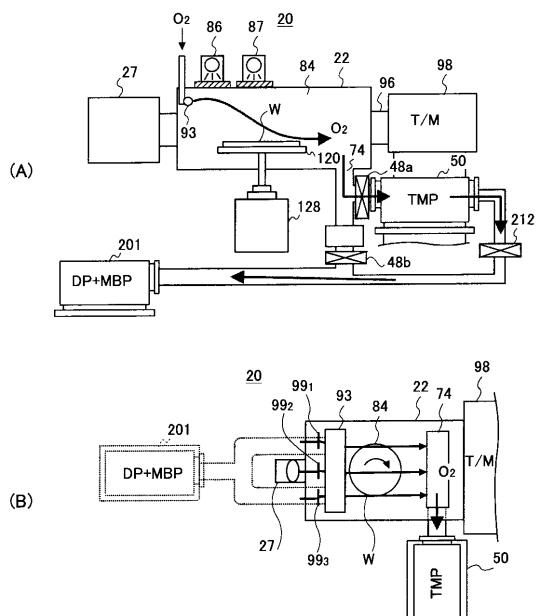
【図45】



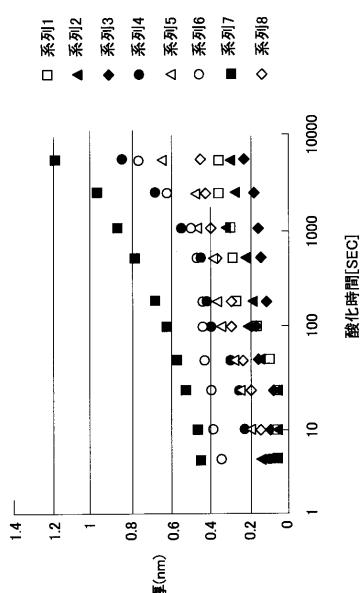
【図46】



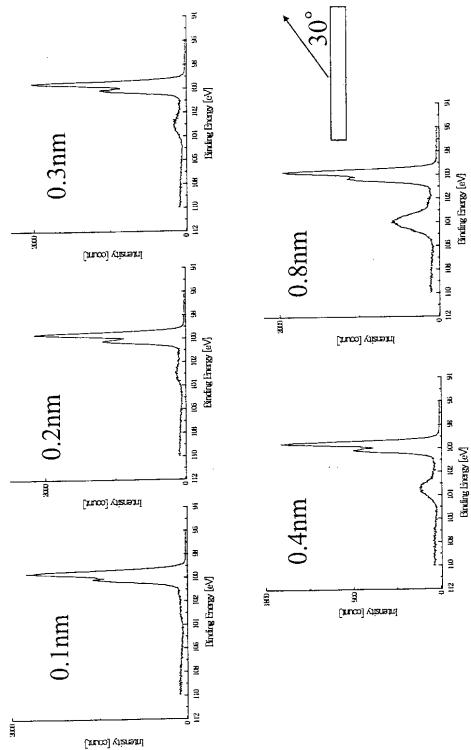
【図47】



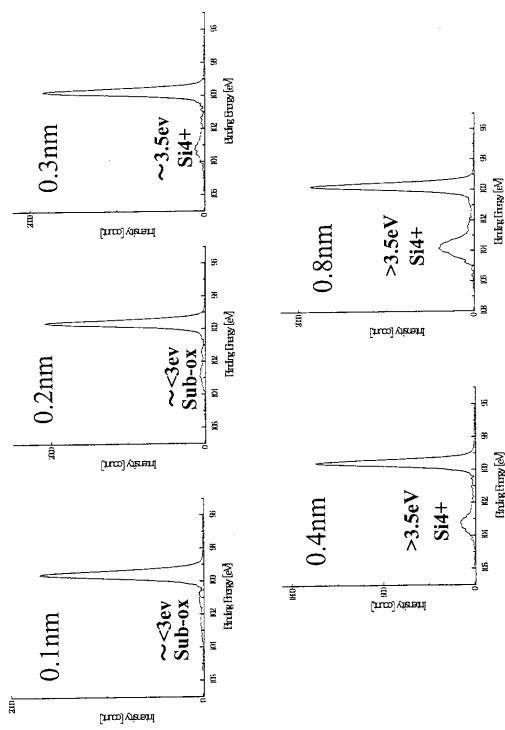
【図48】



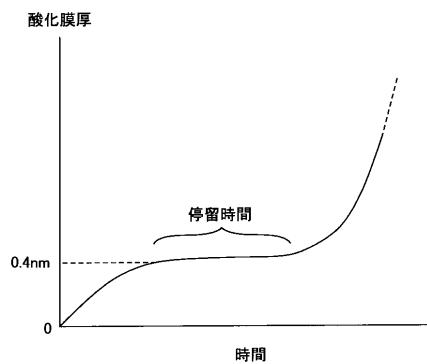
【図49】



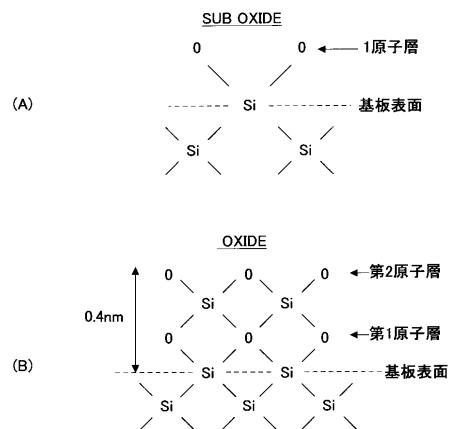
【図50】



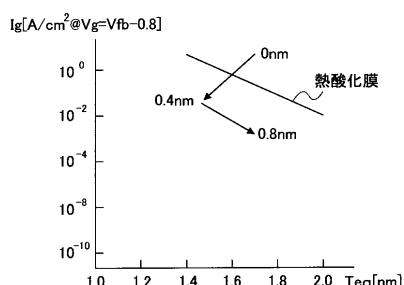
【図 5 1】



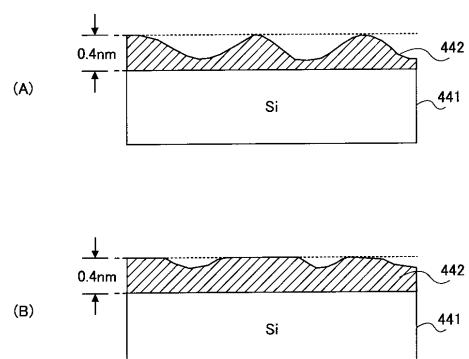
【図 5 2】



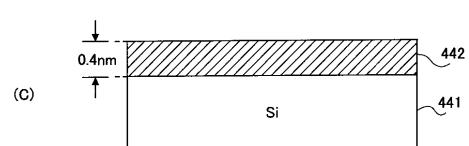
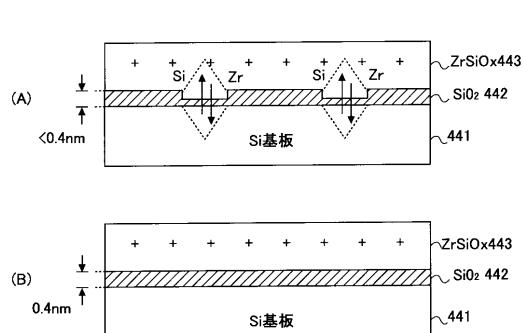
【図 5 3】



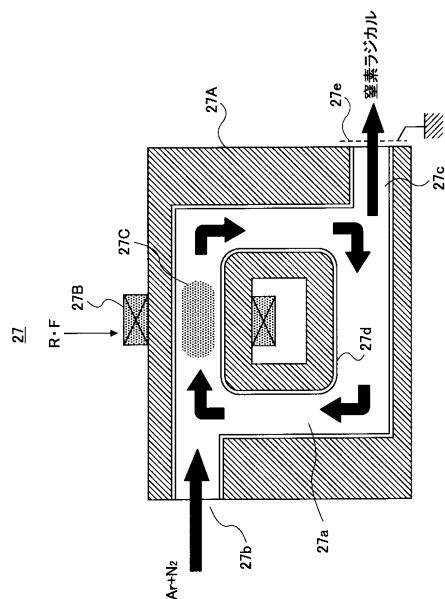
【図 5 5】



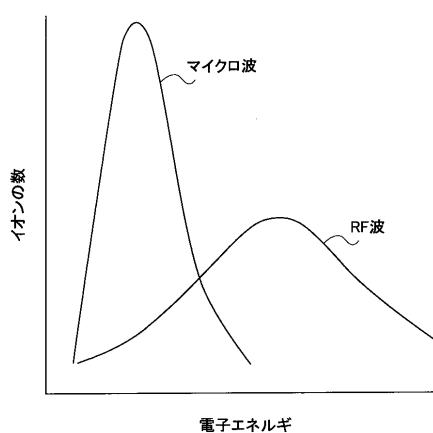
【図 5 4】



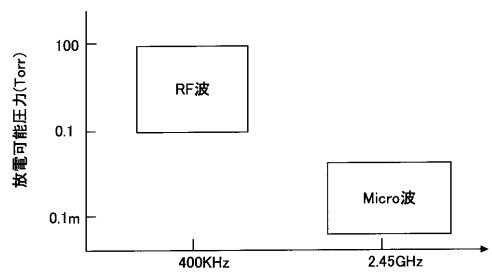
【図56】



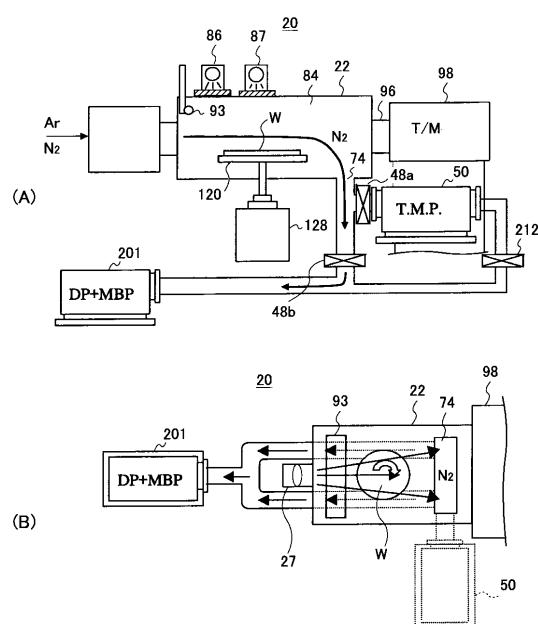
【図57】



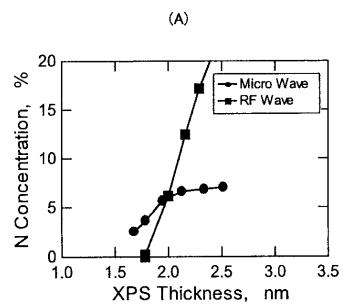
【図58】



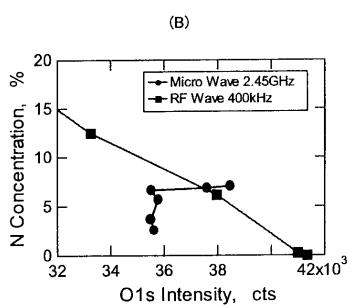
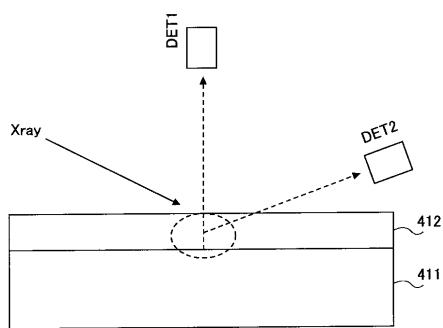
【図59】



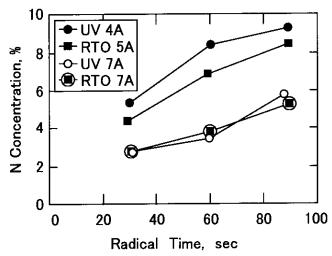
【図 6 0】



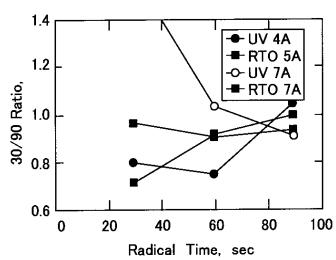
【図 6 1】



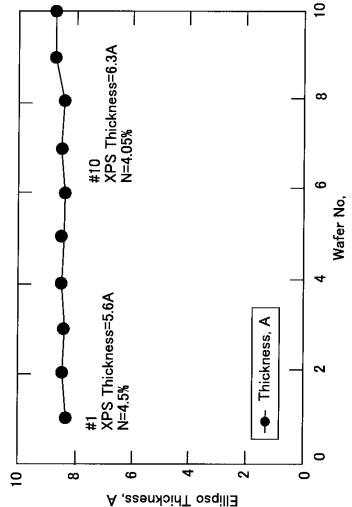
【図 6 2】



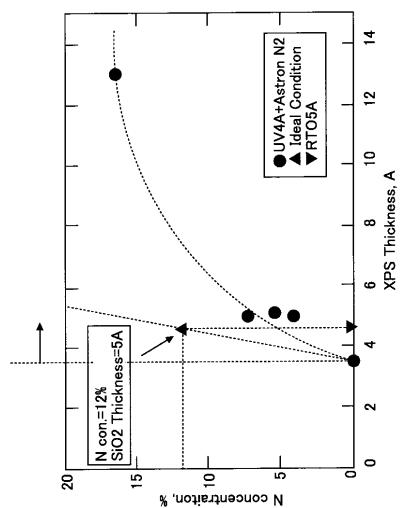
【図 6 3】



【図 6 4】



【図 6 5】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平03-077315(JP,A)
特開平09-097765(JP,A)
特開平09-030893(JP,A)
特開2001-308012(JP,A)
特開平08-315965(JP,A)
特開平09-260364(JP,A)
特開平10-270436(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/31

C23C 16/46

H01L 21/316

H05B 3/14