

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-103635

(P2007-103635A)

(43) 公開日 平成19年4月19日(2007.4.19)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/205 (2006.01)	HO 1 L 21/205	4 K O 3 O
HO 1 L 21/3065 (2006.01)	HO 1 L 21/302 1 O 1 H	5 F O O 4
C 2 3 C 16/52 (2006.01)	C 2 3 C 16/52	5 F O 4 5

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2005-291016 (P2005-291016)  
 (22) 出願日 平成17年10月4日 (2005.10.4)

(出願人による申告) 平成17年度新エネルギー・産業技術総合開発機構 太陽光発電技術研究開発 先進太陽電池技術研究開発委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 000006208  
 三菱重工業株式会社  
 東京都港区港南二丁目16番5号  
 (74) 代理人 100102864  
 弁理士 工藤 実  
 (74) 代理人 100117617  
 弁理士 中尾 圭策  
 (72) 発明者 森 匡史  
 長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号  
 三菱重工業株式会社長崎研究所内  
 (72) 発明者 深川 雅幸  
 長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号  
 三菱重工業株式会社長崎研究所内

最終頁に続く

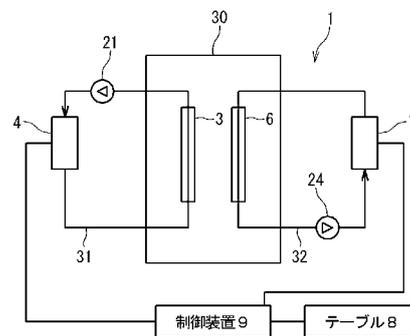
(54) 【発明の名称】 製膜装置、製膜方法

(57) 【要約】

【課題】 高パワー、高圧力条件で製膜しても、基板の反りが発生しない製膜装置及び製膜方法を提供する。

【解決手段】 内部に電極用熱媒体が流れる流路を有し、プラズマを放電して基板に製膜する放電電極3と、前記電極用熱媒体の温度を調節する電極温度調節装置4と、前記基板2を表面で保持する基板テーブル5と、前記基板テーブル5の裏面に密接して、内部に均熱板用熱媒体が流れる流路を有する均熱板6と、前記均熱板用熱媒体の温度を調節する均熱板温度調節装置7と、製膜時に前記基板の表裏の温度差が無くなるように前記電極温度調節装置4及び前記均熱板温度調節装置7の動作を制御する制御装置9と、を具備する。

【選択図】 図4 A



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

内部に電極用熱媒体が流れる流路を有し、プラズマを放電して基板に製膜する放電電極と、

前記電極用熱媒体の温度を調節する電極温度調節装置と、

前記基板を表面で保持する基板テーブルと、

前記基板テーブルの裏面に密接して、内部に均熱板用熱媒体が流れる流路を有する均熱板と、

前記均熱板用熱媒体の温度を調節する均熱板温度調節装置と、

製膜時に前記基板の表裏の温度差が無くなるように前記電極温度調節装置及び前記均熱板温度調節装置の動作を制御する制御装置と、

を具備した

製膜装置。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載された製膜装置であって、

更に、

前記基板に対して製膜を行う際に設定される設定パラメータと、製膜時に前記基板の表裏の温度差が零となる前記電極用熱媒体の温度及び前記均熱板用熱媒体の温度の組み合わせ、との対応関係が予め記述されたテーブル

を具備し、

前記制御装置は、前記テーブルを参照して、前記設定パラメータの設定値に対応する前記電極用熱媒体の温度 T を取得して、前記電極用熱媒体の温度を取得した温度 T となるように前記電極温度調節装置の動作を制御し、且つ、前記設定パラメータの設定値に対応する前記均熱板用熱媒体の温度 L を取得して、前記均熱板用熱媒体の温度が取得した温度 L となるように前記均熱板温度調節装置の動作を制御する

製膜装置。

## 【請求項 3】

請求項 2 に記載された製膜装置であって、

前記設定パラメータは、前記基板の表面の温度である基板表面温度及び前記放電電極に印加される放電電極印加電力及び製膜時の雰囲気圧力である製膜圧力である

製膜装置。

## 【請求項 4】

請求項 3 に記載された製膜装置であって、

更に、

前記電極用熱媒体を送出する電極用ポンプと、

前記均熱板用熱媒体を送出する均熱板用ポンプと、

前記放電電極の温度を測定する電極温度センサと、

前記均熱板の温度を測定する均熱板温度センサと、

を具備し、

前記制御装置は、前記基板表面温度、前記放電電極印加電力、又は前記製膜圧力の設定値が変更された場合に、前記電極温度センサによって測定された前記放電電極の温度の単位時間当たりの変化率に基いて、前記電極用ポンプが送出する前記電極用熱媒体の流量を制御し、且つ、前記均熱板温度センサによって測定された前記均熱板の温度の単位時間当たりの変化率に基いて、前記均熱板用ポンプが送出する前記均熱板用熱媒体の流量を制御する

製膜装置。

## 【請求項 5】

請求項 3 又は 4 に記載された製膜装置であって、

前記制御装置は、前記基板表面温度、前記放電電極印加電力、又は前記製膜圧力の設定値が変更された場合に、前記テーブルを参照して変更後の前記基板表面温度、前記放電電

10

20

30

40

50

極印加電力、又は前記製膜圧力に対応する電極用熱媒体の温度  $T_1$  を取得し、変更後に取得した  $T_1$  が変更前の電極用熱媒体の温度  $T_0$  よりも高い場合には、前記電極用熱媒体の温度が  $T_1$  よりも所定の温度 だけ高い温度  $T_1 +$  になるように前記電極温度調節装置の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $T_1$  になるように動作を制御し、変更後に取得した  $T_1$  が変更前の電極用熱媒体の温度  $T_0$  よりも低い場合には、前記電極用熱媒体の温度が  $T_1$  よりも所定の温度 だけ低い温度  $T_1 -$  になるように前記電極温度調節装置の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $T_1$  になるように動作を制御し、且つ、前記テーブルを参照して変更後の前記基板表面温度、前記放電電極印加電力、又は前記製膜圧力に対応する均熱板用熱媒体の温度  $L_1$  を取得し、変更後に取得した  $L_1$  が変更前の均熱板用熱媒体の温度  $L_0$  よりも高い場合には、前記均熱板用熱媒体の温度が  $L_1$  よりも所定の温度 だけ高い温度  $L_1 +$  になるように前記均熱板温度調節装置の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $L_1$  で動作を制御し、変更後に取得した  $L_1$  が変更前の均熱板用熱媒体の温度  $L_0$  よりも低い場合には、前記均熱板用熱媒体の温度が  $L_1$  よりも所定の温度 だけ低い温度  $L_1 -$  になるように前記均熱板温度調節装置の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $L_1$  になるように動作を制御する製膜装置。

10

【請求項 6】

請求項 4 に記載された製膜装置であって、  
前記電極用ポンプと前記均熱板用ポンプとは共通であり、  
前記電極用熱媒体と前記均熱板用熱媒体は共通であり、  
前記電極用熱媒体が循環する経路と前記均熱板用熱媒体が循環する経路とは共通である製膜装置。

20

【請求項 7】

請求項 6 に記載された製膜装置であって、  
前記電極用熱媒体は、前記放電電極中を流れた後、前記均熱板温度調節装置によって温度を調整されて前記均熱板中を流れる製膜装置。

【請求項 8】

請求項 3 乃至 7 のいずれかに記載された製膜装置であって、  
更に、  
前記基板の温度を測定する基板温度センサを具備し、  
前記テーブルは、更に、前記均熱板の温度と前記均熱板用熱媒体の温度との対応関係を記述し、  
前記制御装置は、前記基板が投入される前に前記基板温度センサにより計測された基板温度を取得して前記基板表面温度の設定値と比較し、投入される前の基板温度と前記基板表面温度の設定値との差が所定の差より大きい場合において、

30

前記テーブルを参照して、前記基板表面温度、前記放電電極印加電力、及び前記製膜圧力の設定値から前記均熱板の温度  $P_1$  を取得し、更に、取得した前記均熱板の温度  $P_1$  よりも所定の温度 だけ高い温度  $P_1 +$  に対応した前記均熱板用熱媒体の温度  $L_1 +$  を取得し、前記均熱板用熱媒体の温度が取得した温度  $L_1 +$  となるように前記均熱板温度調節装置の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $L_1$  になるように動作を制御する製膜装置。

40

【請求項 9】

請求項 3 乃至 8 のいずれかに記載された製膜装置であって、  
前記テーブルは、更に、前記放電電極の温度と前記電極用熱媒体の温度との対応関係を記述し、  
セルフクリーニング時において、前記制御装置は、前記テーブルを参照して、設定され

50

た放電電極の温度  $D_s$ 、均熱板温度  $P_s$ 、放電電極印加電力、及びクリーニング圧力、に対応した前記電極用熱媒体の温度  $T_s$  と均熱板用熱媒体温度  $L_s$  とを取得し、前記電極用熱媒体の温度が取得した温度  $T_s$  となるように前記電極温度調節装置の動作を制御し、前記均熱板用熱媒体の温度が取得した温度  $L_s$  となるように前記均熱板温度調節装置の動作を制御する製膜装置。

【請求項 10】

基板表面温度を設定するステップと、

基板表面温度と、製膜時に前記基板の表裏の温度差が零となるような、前記電極用熱媒体の温度及び前記基板を保持する基板テーブルの裏面に密接する均熱板の内部を流れる均熱板用熱媒体の温度の組み合わせ、の対応関係が記述されたテーブルを参照するステップと、

10

基板表面温度の設定値に対応する前記電極用熱媒体の温度  $T$  を取得する電極用熱媒体温度取得ステップと、

前記電極用熱媒体の温度を調節する電極温度調節装置の動作を、温度  $T$  になるように制御するステップと、

前記基板表面温度の設定値に対応する前記均熱板用熱媒体の温度  $L$  を取得する均熱板用熱媒体温度取得ステップと、

前記均熱板用熱媒体の温度を調節する均熱板温度調節装置の動作を、取得した温度  $L$  になるように制御するステップと、

を具備した

20

製膜方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載された製膜方法であって、

更に、

前記放電電極に印加される放電電極印加電極の値を設定するステップと、

製膜時の雰囲気圧力である製膜圧力の値を設定するステップと、

を具備し、

前記テーブルには、前記基板表面温度、前記放電電極印加電力、及び前記製膜圧力に対して、製膜時に前記基板の表裏の温度差が零となるような前記電極用熱媒体の温度及び前記均熱板用熱媒体の温度の組み合わせ、が対応付けられて記述され、

30

前記電極用熱媒体温度取得ステップは、前記基板表面温度、前記放電電極印加電力、及び前記製膜圧力の設定値に対応した電極用熱媒体の温度  $T$  を取得するステップを含み、

前記均熱板用熱媒体温度取得ステップは、前記基板表面温度、前記放電電極印加電力、及び前記製膜圧力の設定値に対応した前記均熱板用熱媒体の温度  $L$  を取得するステップを含む、

製膜方法。

【請求項 12】

請求項 11 に記載された製膜方法であって、

更に、

前記基板表面温度、前記放電電極印加電力、又は前記製膜圧力の設定値が変更されるステップと、

40

前記放電電極の温度を測定するステップと、

前記放電電極の温度の単位時間当たりの変化率である電極温度変化率を求めるステップと、

前記電極温度変化率に基づいて、前記電極用熱媒体を送出する電極用ポンプの動作を制御するステップと、

前記均熱板の温度を測定するステップと、

前記均熱板温度センサにより測定された前記均熱板の温度の単位時間当たりの変化率である均熱板温度変化率を求めるステップと、

前記均熱板温度変化率に基づいて、前記均熱板用熱媒体を送出する均熱板用ポンプの動作

50

を制御するステップと、  
を具備した  
製膜方法。

【請求項 1 3】

請求項 1 1 又は 1 2 に記載された製膜方法であって、  
更に、

前記基板表面温度、前記放電電極印加電力、又は前記製膜圧力の設定値が変更されるステップと、

変更後の前記基板表面温度、前記放電電極印加電力、及び前記製膜圧力の設定値に対応する電極用熱媒体の温度  $T_1$  を取得するステップと、

変更後に取得した  $T_1$  が変更前の電極用熱媒体の温度  $T_0$  よりも高い場合には、前記電極用熱媒体の温度が  $T_1$  よりも所定の温度 だけ高い温度  $T_1 +$  になるように前記電極温度調節装置の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $T_1$  で動作を制御し、変更後に取得した  $T_1$  が変更前の電極用熱媒体の温度  $T_0$  よりも低い場合には、前記電極用熱媒体の温度が  $T_1$  よりも所定の温度 だけ低い温度  $T_1 -$  になるように前記電極温度調節装置の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $T_1$  で動作を制御するステップと、

変更後の前記基板表面温度、前記放電電極印加電力、及び前記製膜圧力の設定値に対応する均熱板用熱媒体の温度  $L_1$  を取得するステップと、

変更後に取得した  $L_1$  が変更前の均熱板用熱媒体の温度  $L_0$  よりも高い場合には、前記均熱板用熱媒体の温度が  $L_1$  よりも所定の温度 だけ高い温度  $L_1 +$  になるように前記均熱板温度調節装置の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $L_1$  で動作を制御し、変更後に取得した  $L_1$  が変更前の均熱板用熱媒体の温度  $L_0$  よりも低い場合には、前記均熱板用熱媒体の温度が  $L_1$  よりも所定の温度 だけ低い温度  $L_1 -$  になるように前記均熱板温度調節装置の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $L_1$  になるように動作を制御するステップと、

を具備した  
製膜方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 1 乃至 1 3 のいずれかに記載された製膜方法であって、

前記テーブルは、更に、前記均熱板の温度と前記均熱板用熱媒体の温度との対応関係を記述し、

更に、

製膜室に投入する前の前記基板の温度を測定するステップと、

投入する前の前記基板の温度と、設定された基板表面温度との差が所定の値より大きいかどうかを比較するステップと、

投入する前の前記基板の温度と、設定された基板表面温度との比較の結果、差が所定の値より大きい場合において、前記テーブルを参照して、設定された基板表面温度、放電電極印加電力及び製膜圧力に対応する前記均熱板の温度  $P_1$  を取得するステップと、

取得した前記均熱板の温度  $P_1$  よりも所定の温度 だけ高い温度  $P_1 +$  を求めるステップと、

求めた温度  $P_1 +$  に対応した均熱板用熱媒体の温度  $L_1 +$  を取得するステップと、

前記均熱板用熱媒体の温度が、取得した温度  $L_1 +$  になるように、前記均熱板温度調節装置の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $L_1$  になるように動作を制御するステップと、

を具備した  
製膜方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 1 乃至 1 4 のいずれかに記載された製膜方法であって、

前記テーブルは、更に、前記放電電極の温度と前記電極用熱媒体の温度との対応関係、

10

20

30

40

50

及び前記均熱板の温度と前記均熱板用熱媒体の温度との対応関係を記述し、更に、

セルフクリーニングモードに設定するステップと、

前記放電電極温度を設定するステップと、

前記均熱板温度を設定するステップと、

放電電極印加電力を設定するステップと、

セルフクリーニング時における雰囲気圧力であるクリーニング圧力を設定するステップと、

前記テーブルを参照するステップと、

前記放電電極及び前記放電電極印加電力、及び前記クリーニング圧力の設定値に対応した前記電極用熱媒体の温度 $T_s$ と前記均熱板温度 $L_s$ を取得するステップと、

前記電極用熱媒体の温度が取得した前記電極用熱媒体の温度 $T_s$ となるように前記電極温度調整装置の動作を制御し、且つ、前記均熱板用熱媒体の温度が、取得した前記均熱板用熱媒体の温度 $L_s$ となるように、前記均熱板温度調整装置の動作を制御するステップと

を具備した

セルフクリーニング方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、製膜装置に関し、特にプラズマを用いて処理を行う製膜装置に関する。

【背景技術】

【0002】

光に反応して発電する太陽電池が知られている。その一つとして、アモルファスシリコンや微結晶シリコン等の発電層を大型の基板に製膜した薄膜シリコン系太陽電池が知られている。その中でも、ボトムセル(i層)の膜厚が厚い微結晶型太陽電池は、製膜速度を向上する生産性向上の観点から、製膜時に高圧力、高放電電極印加電力(以下、Rfパワーと記載)でプラズマを発生させて高速で製膜することが望まれる。

【0003】

図1は従来のアモルファスシリコン製膜用装置の製膜装置10の構成を概略的に示す図である。図1に示されるアモルファスシリコン製膜用装置の製膜装置10は、基板11を保持する基板テーブル12、基板テーブル12に対向して設けられたプラズマ放電電極13、基板テーブル12に間接的に熱を加える棒状ヒータ14、及び装置内部に蓄積された熱を除去するヒートシンク15を備えている。図1は基板を鉛直方向に設置するように記載されているが、鉛直軸に対して約10°傾斜させて、基板11を重力で安定に支持することとしても良い。

【0004】

図1に示されるような装置を用いて、高圧力、高Rfパワー条件下にて基板に製膜を行うと、ヒートシンク15による吸熱が追いつかず、基板の膜面側(プラズマ放電電極側)から基板11へのプラズマからの入熱が大きくなることがある。基板11の膜面側においてプラズマからの入熱が大きくなると、基板の表裏の温度差が大きくなる。基板の表裏の温度差は、基板温度が低い場合のように基板11へ基板テーブル12からの伝熱が大きいと、図2Aに示されるように基板の外側が基板テーブル12から浮き上がったたり、プラズマからの入熱が大きくなり基板11の膜面側温度が高くなると、図2Bに示されるように基板の中央部が基板テーブル12から浮き上がるような、基板の反り、の一因となる。大型の基板(例示:1m×1m以上)においては、このような反りの大きさは特に顕著である。基板の反りは、基板と電極間距離にばらつきを生じさせ、基板の面内で均一な膜厚及び膜質が得られなくなる要因となる。基板11の面内温度分布が不均一になり辺長が1mを超える大型基板では略30°以上の温度分布が発生すると、基板の反りは、平坦な基板がうねるような変形(バックリング変形)が生じて基板の面内温度分布が小さくなるまで変

形が回復しない状況となり、膜の製品表面への回り込みや製膜不良の原因ともなる。これらの基板の反りにより発生する事象は、太陽電池の性能悪化や、太陽電池の製品価値を低下させるものである。前記大型基板においては、その処理する製膜室の各部の構成部品は大型で重量物であり、温度調整には非常に長時間を必要とする。このため、基板を基板テーブルに設置後や製膜開始後に、各部に発生した温度変動分を従来のPID制御などにより温度調整を開始しても短時間で調整することはできないので、製膜処理には間に合わず、有効な制御が出来ていない状況にある。即ち、大型基板で高圧力、高Rfパワーでプラズマを発生させた際に、基板を所定の温度に保ちながら、基板の反りを抑制させる技術の提供が望まれる。

【0005】

上記と関連して、特許文献1は、基板の表面温度を製膜開始前に所定温度まで上げた後に製膜し、製膜中の温度を230～260 範囲内に保つ方法として、製膜後のアニーリング熱処理時の配線ダメージの原因となる膜内応力の変化（圧縮応力から引っ張り応力への変化）を生じさせる水分のない、透水性の小さい膜を、配線の熱ストレスダメージをもたらない温度以下で形成する絶縁膜形成方法、を開示している。

【0006】

更に、上記と関連して、特許文献2は、プラズマCVD装置の印加電極温度調節装置において、電極の温度調節液接液部を電気絶縁性材料による被覆を施してなることを特徴とする印加電極の温度調節装置、を開示している。

【0007】

更に、上記と関連して、特許文献3は、電極部と、その電極部に熱的に接続された冷却部とを具備し、その電極部は複数の電極棒を具備し、その冷却部はその複数の電極棒のそれぞれに対応して形成されたプラズマCVD装置用電極、を開示している。

【0008】

【特許文献1】特開平5 29300号 公報

【特許文献2】特開2002 339073号 公報

【特許文献3】特開2005 123339号 公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明の目的は、高Rfパワー、高圧力条件で製膜しても、基板の反りが発生しない製膜装置及び製膜方法を提供することにある。

【0010】

更なる本発明の目的は、高Rfパワー、高圧力条件で製膜するに、早く製膜室内部の温度を事前に設定された所定温度に制御するとともに、基板の温度上昇が発生しない製膜装置及び製膜方法を提供することにある。

【0011】

本発明のほかの目的は、高Rfパワー、高圧力条件下で製膜しても、均一な膜厚分布、膜質分布が得られる製膜装置及び製膜方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

その課題を解決するための手段が、下記のように表現される。その表現中に現れる技術的事項には、括弧（ ）つきで、番号、記号等が添記されている。その番号、記号等は、本発明の実施の複数の形態又は複数の実施例のうち少なくとも1つの実施の形態又は複数の実施例を構成する技術的事項、特に、その実施の形態又は実施例に対応する図面に表現されている技術的事項に付せられている参照番号、参照記号等に一致している。このような参照番号、参照記号は、請求項記載の技術的事項と実施の形態又は実施例の技術的事項との対応・橋渡しを明確にしている。このような対応・橋渡しは、請求項記載の技術的事項が実施の形態又は実施例の技術的事項に限定されて解釈されることを意味しない。

【0013】

10

20

30

40

50

本発明に係る製膜装置(1)は、  
 内部に電極用熱媒体が流れる流路を有し、プラズマを放電して基板(2)に製膜する放電電極(3)と、  
 電極用熱媒体の温度を調節する電極温度調節装置(4)と、  
 基板(2)を表面で保持する基板テーブル(5)と、  
 基板テーブル(5)の裏面に密接して、内部に均熱板用熱媒体が流れる流路を有する均熱板(6)と、  
 その均熱板用熱媒体の温度を調節する均熱板温度調節装置(7)と、  
 製膜時に基板(2)の表裏の温度差が無くなるように電極温度調節装置(4)及び均熱板温度調節装置(7)の動作を制御する制御装置(9)と、  
 を備える。

10

## 【0014】

上述の構成に依れば、製膜時において制御装置(9)が基板(2)の表裏の温度差が零となるように均熱板温度調節装置(7)と電極温度調節装置(4)の動作を制御する。均熱板温度調節装置(7)及び電極温度調節装置(4)の双方が制御されるので、均熱板(6)及び放電電極(3)の双方の温度も制御される。均熱板(6)及び放電電極(3)の温度を製膜時を想定して事前に準備した最適な温度になるように制御するので、製膜時において基板(2)の表裏の温度差が抑制される。よって、製膜時における基板(2)の反りが抑制される。

## 【0015】

図3は、図1に示される従来の製膜装置(10)における、基板(11)に対する熱収支を説明する図である。基板(11)への入熱する熱流束の総量 $Q_{in}$ は、棒状ヒータ(14)から基板テーブル(12)を経由して基板(11)へ向かう熱流束 $Q_h$ 、発熱した放電電極(13)から基板(2)へ向かう熱流束 $Q_e$ 、及びプラズマから基板(11)へ向かう熱流束 $Q_p$ 、を用いて、「 $Q_{in}=Q_h+Q_e+Q_p$ 」という式により表現される。基板(11)から放電電極(13)やヒートシンク(15)等を経由して製膜室30より外部へ搬出される熱流束 $Q_{out}$ よりも $Q_{in}$ が大きい場合には、基板温度は上昇して基板表面温度が基板裏面温度よりも高くなる。即ち、基板表裏温度に差が生じ、基板の反りの原因となる。よって、 $Q_{in}$ は $Q_{out}$ よりも大きくならないように制御する必要があるが、ヒートシンク(15)では熱を取りきれない場合がある。特に、高Rfパワー、高圧力条件下においては、 $Q_e$ と $Q_p$ が大きくなるので、 $Q_{in}$ が大きくなりやすい。本発明の構成に依れば、ヒートシンク(15)で熱を取るのではなく、放電電極(3)内部を流れる電極用熱媒体と、均熱板(6)内部を流れる均熱用熱媒体と、によって放電電極(3)及び均熱板(6)の温度が制御される。いずれも、内部を流れる熱媒体によって温度が制御されるので、放電電極(3)及び均熱板(6)の温度はより確実に制御されるとともに、熱媒体の熱の授受容量が大きく、基板搬入搬出などによる外乱要因に対して温度が安定する。放電電極(3)及び均熱板(6)の温度がより確実に制御されるので、基板(2)への入熱(出熱)もより確実に制御される。

20

30

## 【0016】

本発明に係る製膜装置(1)は、  
 更に、  
 基板(2)に対して製膜を行う際に設定される設定パラメータと、製膜時に基板(2)の表裏の温度差が零となるその電極用熱媒体の温度及びその均熱板用熱媒体の温度の組み合わせ、との対応関係が予め記述されたテーブル(8)  
 を備え、

40

制御装置(9)は、テーブル(8)を参照して、その設定パラメータの設定値に対応する電極用熱媒体の温度 $T$ を取得して、その電極用熱媒体の温度を取得した温度 $T$ となるように電極温度調節装置(4)の動作を制御し、且つ、その設定パラメータの設定値に対応するその均熱板用熱媒体の温度 $L$ を取得して、その均熱板用熱媒体の温度が取得した温度 $L$ となるように均熱板温度調節装置(7)の動作を制御する。

## 【0017】

50

製膜時における基板 2 への入出熱は、製膜条件に大きく影響を受ける。上述のように、予め、製膜条件の設定値である設定パラメータと、製膜中において基板表裏の温度差が零となる電極用熱媒体の温度及びその均熱板用熱媒体の温度の組み合わせと、が対応付けられていることにより、様々な製膜条件下においても制御装置(9)が製膜時の熱バランスを予想して事前に準備した最適な温度の組み合わせを取得することができる。制御装置(9)より指示を受けた電極温度調節装置(4)及び均熱板温度調節装置(7)は、結果として、基板(2)の表裏の温度差が零となるように電極用熱媒体の温度と均熱板用熱媒体の温度を調節する。よって、製膜時における基板(2)の反りが様々な条件下(高 R f パワー、高圧力条件下においても)抑制される。また、設定パラメータの設定値から製膜室内部の温度条件(放電電極の温度及び均熱板の温度)を制御するにあたり、テーブル(8)を使用することで、制御を簡易に、且つ、確実に行うことができる。 10

【0018】

本発明に係る製膜装置(1)において、その設定パラメータは、基板(2)の製膜時における表面の温度である基板表面温度、放電電極(3)に印加される放電電極印加電力(R f パワー)、及び製膜時の雰囲気圧力である製膜圧力である。

【0019】

基板表面温度、R f パワー、及び製膜圧力は、製膜時の基板(2)に対する入出熱の大きさに対する影響が顕著である。設定パラメータとして、基板表面温度、R f パワー、及び製膜圧力を用いることで、より確実に基板表裏温度差が抑制される。 20

【0020】

本発明に係る製膜装置(1)は、更に、

その電極用熱媒体を送出する電極用ポンプ(21)と、  
その均熱板用熱媒体を送出する均熱板用ポンプ(22)と、  
放電電極(3)の温度を測定する電極温度センサ(23)と、  
均熱板(6)の温度を測定する均熱板温度センサ(24)と、

を備え、

制御装置(9)は、その基板表面温度又はその R f パワーの設定値が変更された場合に、電極温度センサ(23)によって測定された放電電極(3)の温度の単位時間当たりの変化率 30 に基いて、電極用ポンプ(21)が送出するその電極用熱媒体の流量を制御し、且つ、均熱板温度センサ(24)によって測定された均熱板(6)の温度の単位時間当たりの変化率に基いて、均熱板用ポンプ(22)が送出するその均熱板用熱媒体の流量を制御する。

【0021】

基板表面温度、R f パワー、及び製膜圧力の設定値は、製膜の状況に応じて変更される場合がある。また、製膜室(30)の各部の構成部品は大型で重量物であり、温度調整には非常に長時間を必要とするため、基板を基板テーブルに設置後や製膜開始後に温度調整を開始しても各部の適正な温度に到達することができず、製膜処理には間に合わない。よって、基板表面温度、R f パワー、及び製膜圧力の設定値が変更された場合、放電電極(3)や均熱板(6)の温度はいち早く安定することが好ましい。上述の構成に依れば、制御 40 装置(9)が、放電電極(3)及び均熱板(6)の温度の変化率に基いて、電極用ポンプ(21)及び均熱板用ポンプ(22)が送出する流量を制御する。即ち、放電電極(3)や均熱板(6)の温度の変化率を大きくする必要があり、短時間で安定した状況とする場合には、送出する流量を所定の時間において増やして温度が安定化するまでの時間を短縮することができる。

【0022】

本発明に係る製膜装置(1)において、

制御装置(9)は、その基板表面温度又はその R f パワーの設定値が変更された場合に、テーブル(8)を参照して変更後のその基板表面温度及びその R f パワーに対応する電極用熱媒体の温度  $T_1$  を取得し、変更後に取得した  $T_1$  が変更前の電極用熱媒体の温度  $T_0$  より 50

も高い場合には、その電極用熱媒体の温度が  $T_1$  よりも所定の温度 だけ高い温度  $T_1 +$  になるように電極温度調節装置 (4) の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $T_1$  になるように動作を制御し、変更後に取得した  $T_1$  が変更前の電極用熱媒体の温度  $T_0$  よりも低い場合には、その電極用熱媒体の温度が  $T_1$  よりも所定の温度 だけ低い温度  $T_1 -$  になるように電極温度調節装置 (4) の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $T_1$  になるように動作を制御し、且つ、変更後のその基板表面温度及び前記 R f パワーに対応する均熱板用熱媒体の温度  $L_1$  を取得し、変更後に取得した  $L_1$  が変更前の均熱板用熱媒体の温度  $L_0$  よりも高い場合には、その均熱板用熱媒体の温度が  $L_1$  よりも所定の温度 だけ高い温度  $L_1 +$  になるように均熱板温度調節装置 (7) の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $L_1$  になるように制御し、変更後に取得した  $L_1$  が変更前の均熱板用熱媒体の温度  $L_0$  よりも低い場合には、その均熱板用熱媒体の温度が  $L_1$  よりも所定の温度 だけ低い温度  $L_1 -$  になるように均熱板温度調節装置 (7) の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $L_1$  になるように動作を制御する。

10

ここで、前記の所定の時間とは、後述の第 1 の実施形態で記載するように、放電電極 (3) や均熱板 (6) の温度を計測しながら設定温度に実際の温度が近づいた時点で所定時間として制御装置 (9) に通知してもよい。また、所定の時間をシミュレーション計算により予め算出しておき、テーブル (8) からの受け取り情報に織り込んでおいてもよい。

#### 【0023】

本発明に係る製膜装置 (1) において、  
 電極用ポンプ (21) と均熱板用ポンプ (22) とは共通であり、  
 その電極用熱媒体とその均熱板用熱媒体は共通であり、  
 その電極用熱媒体が循環する経路 (31) とその均熱板用熱媒体が循環する経路 (32) とは共通である。

20

上述のように、電極用熱媒体が循環する経路と均熱板用熱媒体が循環する経路を共通とすることにより、システムが簡素化する。また、電極用熱媒体と均熱板用熱媒体を共通とすることで、熱媒体量が低減するのでコストが低減される。さらに、電極用ポンプ (21) と均熱板用ポンプ (22) も共通化できるために、ポンプは一つでよく、設置コストが更に低減される。

#### 【0024】

本発明に係る製膜装置 (1) において、  
 その電極用熱媒体は、放電電極 (3) 中を流れた後、均熱板温度調節装置 (7) によって温度を調整されて均熱板 (6) 中を流れる。

30

放電電極 (3) と均熱板 (6) とでは、放電電極 (3) のほうが温度が低い傾向にある。よって、熱媒体は、温度の低い放電電極 (3) へ先に流れることで、放電電極 (3) から熱量を受け取る。温度が若干上昇した熱媒体は均熱板温度調整装置 (7) で設定温度にまで追加加熱され、均熱板 (6) へ送出される。均熱板用熱媒体のみを循環する循環系を持つ場合に比べて、均熱板 (6) へ流れる前に均熱板温度調節装置 (7) が熱媒体に加える熱量は少なく済む。均熱板 (6) 中を流れた熱媒体は、電極温度調節装置 (4) において冷却されて、再び放電電極 (3) へ送出される。よって電極温度調節装置 (4) は冷却機能のみを、均熱板温度調節装置 (7) は加熱機能のみを有していればよく、各温度調節装置で加熱と冷却の機能を分担できるのでコストが低減される。

40

また、放電電極 (3) の温度が高く、高 R f パワーで長時間実施されるセルフクリーニング実施時を考えると、均熱板温度調節装置 (7) にも若干の冷却機能を設けて、放電電極 (3) を出てきた熱媒体を冷却することが必要になる場合がある。しかしながら、この場合も均熱板温度調節装置 (7) が冷却すべき熱量は若干であり、必ずしも十分な冷却機能を有する必要はない。同様に、電極温度調節装置 (4) は若干の加熱機能が必要となる場合があるが、加熱すべき熱量は若干であるので、必ずしも十分な加熱機能を有する必要はない。よって、各温度調節装置 (4、7) は単独で十分な加熱、冷却機能の双方を保有する必要はなく、コストが低減される。

50

## 【0025】

本発明に係る製膜装置(1)において、  
更に、

基板(2)の温度を測定する基板温度センサ(25)  
を備え、

テーブル(8)は、更に、均熱板(6)の温度とその均熱板用熱媒体の温度との対応関係を記述し、

制御装置(9)は、基板(2)が投入される前に基板温度センサ(25)により計測された基板温度を取得してその基板表面温度の設定値と比較し、投入される前の基板温度と基板表面温度の設定値との差が所定の差より大きい場合において、

テーブル(8)を参照して、基板表面温度、放電電極印加電力、及びその製膜圧力の設定値から均熱板(6)の温度 $P_1$ を取得し、更に、取得したその均熱板の温度 $P_1$ よりも所定の温度だけ高い温度 $P_1 + \Delta$ に対応した均熱板用熱媒体の温度 $L_1 + \Delta$ を取得し、その均熱板用熱媒体の温度が取得した温度 $L_1 + \Delta$ となるように均熱板温度調節装置(7)の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度 $L_1$ になるように動作を制御する。

## 【0026】

装置内に基板(2)を投入する際には、投入前の基板の温度が製膜時の基板温度よりも低いことがある。この場合、基板の投入直後には基板に対する入熱が発生して、均熱板(6)の温度が低くなることがある。上述の構成に依れば、投入前の基板(2)の温度と製膜時の設定温度との間に大きな差がある場合には、均熱板用熱媒体の温度をより高くして調節することにより、基板投入時の均熱板(6)の温度低下を抑制することができる。

## 【0027】

本発明に係る製膜装置(1)において、

テーブル(8)は、更に、放電電極(3)の温度とその電極用熱媒体の温度との対応関係を記述し、

セルフクリーニング時において、制御装置(9)は、テーブル(8)を参照して、設定された放電電極(3)の温度 $D_s$ に対応したその電極用熱媒体の温度 $T_s$ を取得し、その電極用熱媒体の温度が、取得した温度 $T_s$ となるように、電極温度調節装置(4)の動作を制御する。

これによりセルフクリーニング時において、Si系膜や粉にフッ素ラジカルを反応させて $SiF_4$ を生成して除去する際に発生する発熱量を、熱媒体に有効に吸収させて除去できるので、製膜室(30)の温度変化を抑制することができる。

このためセルフクリーニング終了後は製膜室(30)の温度が製膜可能な状況になるまで待機する無駄時間を省き、すみやかに製膜処理準備を開始することが出来て、生産量向上に寄与する効果がある。

## 【0028】

本発明に係る製膜方法は、

プラズマを放電して基板(2)に製膜する際の基板表面温度を設定するステップ(ステップS10)と、

基板表面温度と、製膜時に基板(2)の表裏の温度差が零となるような、その電極用熱媒体の温度及び基板(2)を保持する基板テーブル(5)の裏面に密接する均熱板(6)の内部を流れる均熱板用熱媒体の温度の組み合わせ、との対応関係が記述されたテーブル(8)を参照するステップ(ステップS20)と、

基板表面温度の設定値に対応するその電極用熱媒体の温度 $T$ を取得する電極用熱媒体温度取得ステップ(ステップS30)と、

その電極用熱媒体の温度を調節する電極温度調節装置(4)の動作を、温度 $T$ になるように制御するステップ(ステップS40)と、

その基板表面温度の設定値に対応するその均熱板用熱媒体の温度 $L$ を取得する均熱板用熱媒体温度取得ステップ(ステップS50)と、

10

20

30

40

50

その均熱板用熱媒体の温度を調節する均熱板温度調節装置(7)の動作を、取得した温度Lになるように制御するステップ(ステップS60)と、  
を備える。

【0029】

本発明に係る製膜方法は、  
更に、

放電電極(3)に印加されるRfパワーの値を設定するステップ(ステップS11)と  
を備え、

テーブル(8)には、その基板表面温度、そのRfパワー、及びその製膜圧力に対して、  
製膜時に前記基板の表裏の温度差が零となるようなその電極用熱媒体の温度及びその均熱  
板用熱媒体の温度の組み合わせ、が対応付けられて記述され、

電極用熱媒体温度取得ステップ(ステップS30)において、基板表面温度、そのRfパ  
ワー、及びその製膜圧力の設定値に対応したその電極用熱媒体の温度Tを取得し、  
均熱板用熱媒体温度取得ステップ(ステップS50)において、基板表面温度、そのRfパ  
ワー、及びその製膜圧力の設定値に対応したその均熱板用熱媒体の温度Lを取得する。

【0030】

本発明に係る製膜方法は、  
更に、

その基板表面温度、そのRfパワー、又はその製膜圧力の設定値が変更されるステップ  
(ステップS70)と、

放電電極(3)の温度を測定するステップ(ステップS140)と、

放電電極(3)の温度の単位時間当たりの変化率である電極温度変化率を求めるステップ  
(ステップS150)と、

その電極温度変化率に基いて、その電極用熱媒体を送出する電極用ポンプ(21)の動作  
を制御するステップ(ステップS160)と、

均熱板(6)の温度を測定するステップ(ステップS170)と、

均熱板温度センサ(24)により測定された均熱板(6)の温度の単位時間当たりの変化率  
である均熱板温度変化率を求めるステップ(ステップS171)と、

その均熱板温度変化率に基いて、その均熱板用熱媒体を送出する均熱板用ポンプ(22)  
)の動作を制御するステップ(ステップS172)と、  
を備える。

【0031】

本発明に係る製膜方法は、  
更に、

その基板表面温度又はRfパワーの設定値が変更されるステップ(ステップS70)と

、  
テーブル(8)を参照して、変更後の基板表面温度、Rfパワー、及び製膜圧力の設定値  
に対応する電極用熱媒体の温度 $T_1$ を取得するステップ(ステップS80)と、

変更後に取得した $T_1$ が変更前の電極用熱媒体の温度 $T_0$ よりも高い場合には、取得した  
温度 $T_1$ よりも所定の温度 だけ高い温度 $T_1 +$  になるように電極温度調節装置(4)の動  
作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度 $T_1$  になるように制御  
し、変更後に取得した $T_1$ が変更前の電極用熱媒体の温度 $T_0$ よりも低い場合には、電極用  
熱媒体の温度が $T_1$ よりも所定の温度 だけ低い温度 $T_1 -$  になるように電極温度調節装  
置(4)の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度 $T_1$  になる  
ように制御するステップ(ステップS90)と、

テーブル(8)を参照して、変更後の基板表面温度、Rfパワー、及び製膜圧力の設定値  
に対応する均熱板用熱媒体の温度 $L_1$ を取得するステップ(ステップS110)と、

変更後に取得した $L_1$ が変更前の均熱板用熱媒体の温度 $L_0$ よりも高い場合には、取得し  
た温度 $L_1$ よりも所定の温度 だけ高い温度 $L_1 +$  になるように均熱板温度調節装置(4)  
の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度 $L_1$  になるように

10

20

30

40

50

制御し、変更後に取得した  $L_1$  が変更前の均熱板用熱媒体の温度  $L_0$  よりも低い場合には、均熱板用熱媒体の温度が  $L_1$  よりも所定の温度 だけ低い温度  $L_1$  になるように電極温度調節装置 (4) の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $L_1$  になるように制御するステップ (ステップ S 1 2 0) と、  
を備える。

#### 【0032】

本発明に係る製膜方法において、

テーブル (8) は、更に、均熱板 (6) の温度とその均熱板用熱媒体の温度との対応関係を記述し、

更に、

製膜室に投入する前の基板 (2) の温度を測定するステップ (ステップ S 1 7 5) と、  
投入する前の基板 (2) の温度と、設定された基板表面温度との差が所定の値より大きいかどうかを比較するステップ (ステップ S 1 7 6) と、

投入する前の基板 (2) の温度と、設定された基板表面温度との比較の結果、差が所定の値より大きい場合において、テーブル (8) を参照して、設定された基板表面温度、放電電極印加電力及び製膜圧力に対応する均熱板 (6) の温度  $P_1$  を取得するステップ (ステップ S 1 8 0) と、

取得した均熱板 (6) の温度  $P_1$  よりも所定の温度 だけ高い温度  $P_1 +$  を求めるステップ (ステップ S 1 9 0) と、

求めた温度  $P_1 +$  に対応した均熱板用熱媒体の温度  $L_1 +$  を取得するステップ (ステップ S 2 0 0) と、

その均熱板用熱媒体の温度が、取得した温度  $L_1 +$  になるように、均熱板温度調節装置 (7) の動作を所定の時間において制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $L_1$  になるように動作を制御するステップ (ステップ S 2 1 0) と、  
を備える。

#### 【0033】

本発明に係る製膜方法において、

テーブル (8) は、更に、放電電極 (3) の温度とその電極用熱媒体の温度との対応関係、及び均熱板 (6) と均熱板用熱媒体の温度との対応関係、を記述し、

更に、

セルフクリーニングモードに設定するステップ (ステップ S 2 2 0) と、

放電電極 (3) の温度  $D_s$  を設定するステップ (ステップ S 2 3 0) と、

均熱板 (6) の温度  $L_s$  を設定するステップ (ステップ S 2 3 5) と、

前記放電電極に印可する放電電極印加電力 (R f パワー) を設定するステップ (ステップ S 2 4 0) と、

圧力を設定するステップ (ステップ S 2 4 5) と、

テーブル (8) を参照するステップ (ステップ S 2 5 0) と、

設定された放電電極 (3) の温度  $D_s$ 、均熱板 (6) の温度  $L_s$ 、圧力、及び R f パワー、に対応した電極用熱媒体の温度  $T_s$  及び均熱板用熱媒体の温度  $P_s$  を取得するステップ (ステップ S 2 6 0) と、

その電極用熱媒体の温度が、取得した電極用熱媒体の温度  $T_s$  となるように、電極温度調整装置 (4) の動作を制御し、且つ、均熱板用熱媒体の温度が、取得した均熱板用熱媒体の温度  $P_s$  となるように、均熱板温度調節装置 (7) の動作を制御するステップ (ステップ S 2 7 0) と、  
を備える。

#### 【発明の効果】

#### 【0034】

本発明に依れば、高 R f パワー、高圧力条件で製膜しても、基板の反りが発生しない製膜装置及び製膜方法が提供される。

#### 【0035】

10

20

30

40

50

また、本発明に依れば、高 R f パワー、高圧力条件で製膜するに、早く製膜室内部の温度を所定温度に制御するとともに、基板の温度上昇が発生しない製膜装置及び製膜方法が提供される。

【 0 0 3 6 】

更に、本発明に依れば、高 R f パワー、高圧力条件下で製膜しても、均一な膜厚分布、膜質分布が得られる製膜装置及び製膜方法が提供される。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 3 7 】

( 第 1 の実施形態 )

図 4 A は本発明の第 1 の実施形態に係る製膜装置 1 の構成の概略を示すブロック図である。本発明に係る製膜装置 1 としては、プラズマ C V D 装置、ドライエッチング装置などが挙げられる。ここでは、ガラス基板のような透光性基板上に太陽電池として、微結晶シリコン i 層を製膜する例について説明する。微結晶シリコン i 層は、微結晶化させる製膜条件の一つとして高 R f パワーを放電電極に印加することに加えて、膜厚がアモルファスシリコン i 層の 5 から 1 0 倍と厚い為に、生産性向上のために高圧力、高 R f パワーでの高速製膜が適している。製膜装置 1 は、製膜室 3 0、電極温度調節装置 4、均熱板温度調節装置 7、制御装置 9、及び記憶装置 ( 図示せず ) に格納されたテーブル 8 を備えている。制御装置 9 は、テーブル 8、均熱板温度調節装置 7、及び電極温度調節装置 4 にアクセス可能である。

10

【 0 0 3 8 】

図 5 は製膜室 3 0 内部の断面を概略的に示す図である。製膜室 3 0 内部には、放電電極 3、基板 2 を保持する基板テーブル 5、基板テーブル 5 の裏面に密接する均熱板 6 が設けられている。放電電極 3 には図示されない高周波電源として例えば 6 0 M H z 高周波電力が図示されない整合器を経由して印加されるようになっており、対向する基板 2 と放電電極 3 間でプラズマが発生して基板 2 に製膜される。放電電極 3 の裏側 ( 基板テーブル 5 の反対側 ) には、防着板 1 6 が設けられており、製膜範囲を限定することで製膜室 3 0 の壁面に対する製膜が防止される。

20

【 0 0 3 9 】

放電電極 3 及び均熱板 6 の内部には流路が設けられている。図 4 B は、放電電極 3 の構造を示す図である。放電電極 3 は複数の縦方向電極棒 3 0 a、一対の横方向電極棒 3 0 b、複数のジャケット 3 6、及び一対のヘッダー 5 5 を備えている。一対の横方向電極棒 3 5 b は、複数の縦方向電極棒 3 5 a を挟みこむように配置されて梯子状となっている。また、一対のヘッダー 3 7 は複数のジャケット 3 6 を挟みこむように配置されて梯子状となっている。さらに、複数の縦方向電極棒 3 5 a と複数のジャケット 3 6 は、夫々が対応して一体に形成されている。即ち、各縦方向電極棒 3 5 a の被処理基板の反対側 ( 図中、矢印 S 側の反対側 ) に、各ジャケット 3 6 が一体に形成されている。尚、図 4 B においては、一対のうちの横方向電極棒 3 5 b の片方と、複数の縦方向電極棒 3 5 b との接続部分における構成を示している。

30

【 0 0 4 0 】

被処理体である基板 2 に対向するように、複数のガス噴出し孔 3 8 が各縦方向電極棒 3 5 b に形成されている。横方向電極棒 3 5 b の内部は空洞となっており、各縦方向電極棒 3 5 b の内部にはガス通路 3 9 が設けられている。製膜時の材料ガスは、ガス管 4 0 を介して片方の横方向電極棒 3 5 b 内部に導入される。導入された材料ガスは、各縦方向電極棒 3 5 b のガス通路 3 9 に略均一に分配され、ガス通路 3 9 に接続した複数のガス噴出し孔 3 8 から基板側 ( 図 4 B 中の S 方向 ) へ略均一に放出される。

40

【 0 0 4 1 】

一方、ヘッダー 3 7 内部も空洞となっている。更に、各ジャケット 3 6 内部には電極用熱媒体が流れる熱媒体通路 4 2 が形成されており、ヘッダー 3 7 内部の空洞に接続している。電極用熱媒体は、媒体管 4 2 を介して片方のヘッダー 3 7 内部へ導入される。導入された電極用熱媒体は、各ジャケット 3 6 へ分岐して供給され、他方のヘッダー 3 7 内部で

50

合流したのち、他方のヘッダー 37 に接続された媒体管を介して放電電極 3 の外部へ排出される。このように、梯子状に形成された横方向電極棒 35b 及び縦方向電極棒 35a の片面に、梯子状に形成されたジャケット 36 及びヘッダー 55 が一体にまたは密着して形成されていることは、放電電極 3 の温度が均一に調整される観点から好ましい。

#### 【0042】

図 4C は、図 4B 中の線 B - B における放電電極 3 の断面図を示す。図 4C に示されるように、縦方向電極棒 35a とジャケット 36 は一体に形成されている。放電電極 3 の材料としては、放電電極 3 の温度分布が極力均一になるような非磁性材料が望ましい。その材料として、SUS304、インコネル 600 が使用可能であるが、更に熱伝導性に優れたアルミニウムやアルミニウム合金などが好適に使用される。尚、図 4C において、長方形の断面を有する放電電極が示されている。しかし、放電電極の断面は、長方形に限られるものではない。その断面は、正方形や円形や楕円系、角が丸くなった長方形や多角形などであってもよい。

10

#### 【0043】

図 4D は、均熱板 6 内部に設けられた流路を説明する図である。均熱板 6 の流路 43 は、四つの側面のうちの一つから均熱板 6 内部に入り、均熱板 6 の外周側から内側へ向かい、四つの側面のうちの一つから均熱板 6 を出るように設けられている。その流路は、ここでは、複数の流路 43a 及び 43b に分けられている。いずれの流路も一筆書き的に枝分かれなく設けられている。流路 43a 及び 43b の入り口には、配管 44a 及び 44b が接続され、出口には配管 45a 及び 45b が接続されている。即ち、均熱板用熱媒体は、配管 44a 及び 44b に分岐して流路 43a 及び 43b に導入され、配管 45a 及び 45b から均熱板 6 の外部に排出される。排出された均熱板用熱媒体は、再び合流して、循環する。

20

#### 【0044】

電極用熱媒体及び均熱板用熱媒体としては、非導電性媒体であり、水素やヘリウムなどの高熱伝導性ガス、フッ素系不活性液体、不活性オイル、及び純水等が使用できる。これらの中でも、150 ~ 250 の範囲でも圧力が上がらずに、制御が容易であることから、フッ素系不活性液体（例えば商品名：ガルデン、F05 など）の使用が好適である。

尚、図 5 は基板を鉛直方向に設置するように記載されているが、鉛直軸に対して約 10° 傾斜させて、基板 2 を重力で安定に支持する事としてもよい。

#### 【0045】

放電電極 3 には温度を測定する電極温度センサ 23 が備えられている。電極温度センサ 23 は基板 2 側へのプラズマ放電に影響を与えて製膜への影響が出ないように、プラズマ発生の少ない放電電極 3 の防着板 16 側の面に取り付けることで、放電電極 3 の温度として監視が可能である。同様に、均熱板 6 にも温度を測定する均熱板温度センサ 24 が備えられている。電極温度センサ 23 及び均熱板温度センサ 24 としては、熱電対が好ましい。電極温度センサ 23 及び均熱板温度センサ 24 は、制御装置 9 と接続しており、測定した温度は制御装置 9 に通知される。

30

#### 【0046】

図 4A に戻り、電極用熱媒体及び均熱板用熱媒体の循環経路について説明する。電極用熱媒体は電極用ポンプ 21 によって送出されて電極温度調節装置 4 にて温度を所定の温度に調節され、放電電極 3 内部を流れる。放電電極 3 を流れた電極用熱媒体は再び電極用ポンプ 21 に戻されて、循環経路 31 を循環する。同様に、均熱板用熱媒体も均熱板用ポンプ 24 によって送出され、均熱板温度調節装置 7 にて温度を所定の温度に調節されて、均熱板 6 内部を流れる。均熱板 6 を流れた均熱板用熱媒体は再び均熱板用ポンプ 24 に戻されて、循環経路 32 を循環する。

40

#### 【0047】

制御装置 9 は電極温度調節装置 4、均熱板温度調節装置 7 と接続しており、電極温度調節装置 4 及び均熱板温度調節装置 7 の動作を制御する。制御装置 9 は、更に、テーブル 8 にアクセス可能であり、テーブル 8 を参照して、電極温度調節装置 4 や均熱板温度調節装置 7 が調節する熱媒体の温度を決定、指示する機能を実現する。

50

## 【 0 0 4 8 】

図 6 はテーブル 8 の内容を示す概念図である。図 6 A に示されるように、テーブル 8 は、複数の基板表面温度のそれぞれについて、放電電極 3 に印加される R f パワーを横軸、放電電極 3 の温度を縦軸としたグラフを、圧力毎に記憶している。また、図 6 B に示されるように、テーブル 8 は、複数の基板表面温度のそれぞれについて、放電電極に印加される R f パワーを横軸として、均熱板 6 の温度を縦軸としたグラフを、圧力毎に記憶している。即ち、ある基板表面温度、R f パワー、及び圧力が与えられると、図 6 A のグラフから放電電極 3 の温度が、図 6 B のグラフから均熱板 6 の温度が決定される。ここで、決定された放電電極 3 の温度と均熱板 6 の温度とは、基板 2 の表裏の温度差が零となるような温度の組み合わせである。このような温度の組み合わせは、予め、各 R f パワーの各製膜圧力条件下において、放電電極 3 及び均熱板 6 の温度を変化させて、基板表面温度及び基板裏面温度の変化の挙動を測定することにより求めることができる。尚、このような温度の組み合わせは、予め、各基板表面温度の各 R f パワー条件下において、製膜室 3 0 内部の構成部材である均熱板 6、放電電極 3、及び防着板 1 6 等の温度を事前に測定しておき、シミュレーション計算により製膜室 3 0 内の熱バランスを計算しておくことで、基板 2 の通過熱流束が零になる時に基板 2 の表裏温度差が零になるので、このときの温度の組み合わせとして求めることもできる。

10

## 【 0 0 4 9 】

図 6 A に示されるグラフにおいては、更に、放電電極 3 の温度が電極用熱媒体の温度と対応付けられている。即ち、ある放電電極 3 の温度が与えられると、与えられた放電電極 3 の温度にするために必要な電極用熱媒体の温度が決定される。同様に、図 6 B に示されるグラフにおいて、更に、均熱板 6 の温度が均熱板用熱媒体の温度と対応付けられている。即ち、ある均熱板 6 の温度が与えられると、均熱板 6 を与えられた温度にする為に必要な均熱板用熱媒体の温度が決定される。放電電極 3 の温度と電極用熱媒体の温度との対応関係、及び均熱板 6 の温度と均熱板用熱媒体の温度との対応関係は、いずれも事前の測定や、測定値にもとづくシミュレーション計算により求めることができる。

20

## 【 0 0 5 0 】

電極温度調節装置 4 は電極用熱媒体に対して保温、加温、冷却機能を備えており、電極用熱媒体の温度を、制御装置 9 から指示された温度に調節する機能を有する。均熱板温度調節装置 7 も、均熱板用熱媒体に対して、保温、加温、冷却機能を備えており、均熱板用熱媒体の温度を制御装置 9 から指示された温度に調節する機能を有する。

30

## 【 0 0 5 1 】

図 7 は、本実施の形態に係る製膜装置 1 の動作の流れを示すフローチャートである。上述の構成を有する製膜装置 1 は、製膜中において以下に説明するように動作する。

## 【 0 0 5 2 】

ステップ S 1 0、S 1 1、S 1 2

まず、基板 2 の製膜にあたり基板表面温度、R f パワー、及び製膜圧力の値が制御装置 9 に設定される。基板表面温度、R f パワー、及び製膜圧力は、ユーザによって図示しない入力装置を介して制御装置 9 に通知されることで設定されてもよいし、予め記憶装置に記憶されていた値を読み込むことで設定されてもよい。

40

## 【 0 0 5 3 】

ステップ S 2 0、S 3 0

続いて、制御装置 9 がテーブル 8 にアクセスして、基板表面温度、R f パワー、及び製膜圧力の設定値から、対応する放電電極 3 の温度  $D_1$  を取得する。更に、制御装置 9 は、取得した放電電極 3 の温度  $D_1$  に対応する電極用熱媒体の温度  $T_1$  を取得する。放電電極 3 の温度  $D_1$  と電極用熱媒体の温度  $T_1$  が違うのは、放電電極 3 と電極用熱媒体との間で熱抵抗のために温度差が生じるためである。

## 【 0 0 5 4 】

ステップ S 4 0

電極用熱媒体の温度  $T_1$  を取得した制御装置 9 は、電極温度調節装置 4 に対して取得し

50

た電極用熱媒体の温度  $T_1$  を通知する。通知を受けた電極温度調節装置 4 は、電極用熱媒体の温度が、通知された温度  $T_1$  となるように調節する。

【 0 0 5 5 】

ステップ S 5 0

制御装置 9 は、放電電極 3 の温度  $D_1$  を取得すると同時に、基板表面温度、R f パワー、及び製膜圧力の設定値から、対応する均熱板 6 の温度  $P_1$  を取得する。均熱板 6 の温度  $P_1$  を取得した制御装置 9 は、更に、対応する均熱板用熱媒体の温度  $L_1$  を取得する。

【 0 0 5 6 】

ステップ S 6 0

均熱板用熱媒体の温度  $L_1$  を取得した制御装置 9 は、均熱板温度調節装置 7 に対して取得した均熱板用熱媒体の温度  $L_1$  を通知する。通知を受けた均熱板温度調節装置 7 は、均熱板用熱媒体の温度を、通知された温度  $L_1$  となるように調節する。

10

【 0 0 5 7 】

上述のステップ S 1 0 ~ S 6 0 までの動作により、電極用熱媒体及び均熱板用熱媒体の温度が制御されるので、放電電極 3 及び均熱板 6 の温度も制御される。これにより、製膜中の基板 2 は、基板表面温度の設定値となる。予めテーブル 8 に格納された、基板の表裏の温度差が零である電極用熱媒及び均熱板用熱媒の組み合わせを用いて、製膜状態における熱バランスを事前に考慮して放電電極 3 及び均熱板 6 の温度を制御するので、高 R f パワー、高圧力条件下において製膜しても、基板 2 の反りが抑制される。

【 0 0 5 8 】

本実施の形態に依れば、予め、製膜時の条件に対して、基板の表裏の温度差が零となる電極用熱媒温度及び均熱板用熱媒温度の組み合わせ、が対応付けられているので、どのような製膜条件下においても放電電極 3 及び均熱板 6 の温度を基板の表裏の温度差を零にする上で最適な温度に制御することができる。どのような製膜条件下においても最適な放電電極 3 及び均熱板 6 の温度の組み合わせが与えられるので、例え高 R f パワー、高圧力条件下において製膜したとしても、製膜時に基板 2 の表裏の温度差を抑制することができる。更に、製膜時の条件として、基板表面温度、R f パワー、及び製膜圧力を用いることによって、より精度よく、基板の表裏の温度差の発生を抑制することができる。

20

【 0 0 5 9 】

( 第 2 の実施形態 )

30

( 構成 )

図 8 は本発明の第 2 の実施形態に係る製膜装置 1 の構成を示すブロック図である。本実施の形態に係る製膜装置 1 は、第 1 の実施形態に対して、放電電極 3 の温度を測定する電極温度センサ 2 3、均熱板の温度を測定する均熱板温度センサ 2 4、電極用ポンプ 2 1、及び均熱板用ポンプ 2 2 の構成が変更されている。電極温度センサ 2 3 及び均熱板温度センサ 2 4 は、制御装置 9 に接続されており、測定した温度データは制御装置 9 に通知される。また電極用ポンプ 2 1 及び均熱板用ポンプ 2 2 はそれぞれ、送出する熱媒体の流量を調節する機能を有している。電極用ポンプ 2 1 及び均熱板用ポンプ 2 2 は制御装置 9 と接続しており、これらのポンプが送出する熱媒体の流量は制御装置 9 からの指示によって決定される。

40

電極用ポンプ 2 1 及び均熱板用ポンプ 2 2 から送出される熱媒体の流量の値は、初期値を基板表面温度と R f パワーと製膜圧力とから、テーブル 8 から取得してもよい。熱媒体の流量は P I 制御などを用いて、短時間に目標温度になるように適切に制御される。

【 0 0 6 0 】

尚、上述の構成以外の点については、本実施の形態の構成は第 1 の実施の形態と同様であるので、説明は省略する。

【 0 0 6 1 】

( 動作 )

本実施の形態に係る製膜装置 1 においては、基板表面温度、R f パワー、又は製膜圧力の設定値が変更された場合について、以下のように動作する。図 9 は、第 2 の実施の形態

50

に係る製膜装置 1 において、基板表面温度、Rf パワー、又は製膜圧力の設定値が変更された場合の動作の流れを示すフローチャートである。

【0062】

ステップ S70、80

基板表面温度、Rf パワー、又は製膜圧力の設定値が変更される（ステップ S70）と、制御装置 9 はテーブル 8 を参照して、変更後の基板表面温度、Rf パワー、及び製膜圧力の設定値に対応した放電電極 3 の温度  $D_1$  を取得する。制御装置 9 は、更に、取得した放電電極 3 の温度  $D_1$  に対応した電極用熱媒体の温度  $T_1$  を取得する（ステップ S80）。

【0063】

ステップ S90

続いて、制御装置 9 は、取得した電極用熱媒体の温度  $T_1$  を所定の温度だけ変化させる。この時、基板表面温度、Rf パワー又は製膜圧力の設定値の変更により、変更前に設定されていた電極用熱媒体の温度  $T_0$  よりも、変更後に取得した電極用熱媒体の温度  $T_1$  の方が高い場合（ $T_1 > T_0$ ）には、制御装置 9 は、電極用熱媒体の温度  $T$  を、取得した電極用熱媒体の温度  $T_1$  よりも所定の温度だけ高い温度（ $T_1 +$ ）に設定する。一方、 $T_1 < T_0$  である場合には、制御装置 9 は、 $T$  を所定の温度だけ低い温度（ $T_1 -$ ）に設定する。

10

【0064】

ステップ S100

制御装置 9 は、新しく設定した温度（ $T_1 +$ ）又は（ $T_1 -$ ）を電極温度調節装置 4 に通知する。電極温度調節装置 4 は、制御装置 9 より通知された温度（ $T_1 +$ ）又は（ $T_1 -$ ）になるように、電極用熱媒体の温度を調節する。電極用熱媒体の温度の変更により、放電電極 3 の温度は、時間の経過とともに（ $T_1 +$ ）又は（ $T_1 -$ ）に対応する温度（ $D_1 +$ ）又は（ $D_1 -$ ）に近づいていく。

20

【0065】

ステップ S101

放電電極 3 の温度は、（ $D_1 +$ ）又は（ $D_1 -$ ）に到達する前に、 $D_1$  へ近づく。所定の時間  $t_1$  が経過して、放電電極 3 の温度が  $D_1$  に近づくとき、制御装置 9 は電極温度調節装置 4 に対して、電極用熱媒体の温度を  $T_1$  にするように指示する。電極温度調節装置 4 は、所定の時間  $t_1$  が経過した後は、電極用熱媒体の温度  $T$  が  $T_1$  になるように動作する

30

ここで所定の時間  $t_1$  とは、放電電極 3 の温度を計測しながら、設定値に近づいた時点で所定時間として制御装置 9 に通知してもよい。また、所定時間をシミュレーション計算により予め算出しておき、テーブル 8 からの受け取り情報に織り込んでおいてもよい。したがって、電極用熱媒体の温度は、所定の時間  $t_1$  までは（ $T_1 +$ ）又は（ $T_1 -$ ）になるように制御され、所定の時間  $t_1$  が経過した後は取得した温度  $T_1$  になるように制御される。

【0066】

図 10 は、上述のステップ S80 ~ 101 の動作において、時間  $t$  に対する電極用熱媒体の実際の温度、放電電極 3 の温度、及び設定された電極用熱媒体の温度  $T$  の挙動を、 $T_1 > T_0$  の場合について説明する図である。図 10 に示されるように、時刻  $t_0$  において、電極用熱媒体の温度  $T$  が  $T_1 +$  に設定される。これにより実際の電極用熱媒体の温度も  $T_1 +$  まで上昇する。それに伴ない時刻  $t_0 \sim t_1$  までは実際の放電電極 3 の温度  $D$  は、 $T_1 +$  に対応する温度  $D_1 +$  へ向かって上昇する。放電電極 3 の温度  $D$  が、 $D_1$  に近づいた時刻  $t_1$  において、電極用熱媒体の温度が  $T_1 +$  から  $T_1$  に変更される。実際の電極用熱媒体の温度も  $T_1$  まで下降する。よって、時刻  $t_1$  以降は、実際の放電電極 3 の温度は  $T_1$  に対応する温度  $D_1$  に近づき、温度  $D_1$  となるとこれを維持する。電極用熱媒体の温度  $T$  が変更されても、放電電極 3 の温度が対応する温度  $D$  に到達するまでには時間を要する。本実施の形態によれば、時刻  $t_0 \sim t_1$  の区間において、電極用熱媒体の温度が、 $T_1$  よりも更に高い  $T_1 +$  に設定されるので、放電電極 3 の温度の上昇率を上げるこ

40

50

ができる。即ち、放電電極 3 の温度  $D$  が  $D_1$  まで上昇するまでの時間を短縮させることができる。尚、 $T_1 < T_0$  の場合も同様に、放電電極 3 の温度が  $D_1$  まで下降するまでの時間を短縮させることができる。

【0067】

ステップ S 1 1 0

再び図 9 に戻り、ステップ S 8 0 ~ ステップ S 1 0 1 の処理と平行して、制御装置 9 はテーブル 8 を参照して、変更後の基板表面温度及び R f パワーの設定値に対応した均熱板 6 の温度  $P_1$  を取得する。制御装置 9 は、更に、取得した均熱板 6 の温度  $P_1$  に対応した均熱板用熱媒体の温度  $L_1$  を取得する。

【0068】

ステップ S 1 2 0

続いて、制御装置 9 は、取得した均熱板用熱媒体の温度  $L_1$  を所定の温度 だけ変化させる。この時、基板表面温度及び R f パワーの設定値の変更により、変更前に設定されていた均熱板用熱媒体の温度  $L_0$  よりも、変更後に取得した均熱板用熱媒体の温度  $L_1$  の方が高い場合 ( $L_1 > L_0$ ) には、制御装置 9 は、均熱板用熱媒体の温度  $L$  を、取得した均熱板用熱媒体の温度  $L_1$  よりも所定の温度 だけ高い温度 ( $L_1 +$ ) に設定する。一方、 $L_1 < L_0$  である場合には、制御装置 9 は、 $L$  を所定の温度 だけ低い温度 ( $L_1 -$ ) に設定する。

【0069】

ステップ S 1 3 0

制御装置 9 は、新しく設定した温度 ( $L_1 +$ ) 又は ( $L_1 -$ ) を均熱板温度調節装置 7 に通知する。均熱板温度調節装置 7 は、制御装置 9 より通知された温度 ( $L_1 +$ ) 又は ( $L_1 -$ ) になるように、均熱板用熱媒体の温度  $L$  を調節する。均熱板用熱媒体の温度の変更により、均熱板 6 の温度は、時間の経過とともに ( $L_1 +$ ) 又は ( $L_1 -$ ) に対応する温度 ( $P_1 +$ ) 又は ( $P_1 -$ ) に近づいていく。

【0070】

ステップ S 1 3 1

均熱板 6 の温度は、( $P_1 +$ ) 又は ( $P_1 -$ ) に到達する前に、 $P_1$  へ近づく。均熱板 6 の温度が  $P_1$  に近づいた時刻  $t_2$  において、制御装置 9 は均熱板温度調節装置 7 に対して、均熱板用熱媒体の温度を  $L_1$  に調整するように指示する。均熱板温度調節装置 4 は、時刻  $t_2$  以降、均熱板用熱媒体の温度が  $L_1$  になるように動作する。

ここで所定の時間  $t_2$  とは、均熱板 6 の温度を計測しながら目標温度に近づいた時点で所定時間として制御装置 9 に通知してもいい。また、所定時間をシミュレーション計算により予め算出しておき、テーブル 8 からの受け取り情報に織り込んでおいてもいい。

したがって、均熱板用熱媒体の温度は、所定の時間  $t_2$  までは ( $L_1 +$ ) 又は ( $L_1 -$ ) で制御し、所定の時間経過後は取得した温度  $L_1$  になるように制御される。

【0071】

図 11 は、上述のステップ S 1 1 0 ~ 1 3 1 の動作における時間  $t$  に対する均熱板用熱媒体の実際の温度、均熱板 6 の温度、及び設定された均熱板用熱媒体の温度  $L$  の挙動を、 $L_1 > L_0$  の場合について説明する図である。図 11 に示されるように、時刻  $t_0$  において、均熱板用熱媒体の温度  $L$  が  $L_1 +$  に設定される。これにより実際の均熱板用熱媒体の温度も  $L_1 +$  まで上昇する。それに伴ない時刻  $t_0 \sim t_2$  までは実際の均熱板 6 の温度  $P$  は、 $L_1 +$  に対応する温度  $P_1 +$  へ向かって上昇する。均熱板 6 の温度  $P$  が、 $P_1$  に近づいた時刻  $t_2$  において、均熱板用熱媒体の設定温度が  $L_1 +$  から  $L_1$  に変更される。実際の均熱板用熱媒体の温度も  $L_1$  まで下降する。よって、時刻  $t_2$  以降は、実際の均熱板 6 の温度は  $L_1$  に対応する温度  $P_1$  に近づき、温度  $P_1$  となるとこれを維持する。均熱板用熱媒体の温度が変更されても、実際の均熱板 6 の温度が対応する温度に到達するまでには時間を要する。本実施の形態によれば、時刻  $t_0 \sim t_2$  の区間において、均熱板用熱媒体の温度が、 $L_1$  よりも更に高い  $L_1 +$  に設定されるので、均熱板 6 の温度の上昇率を上げることができる。即ち、均熱板 6 の温度  $P$  が  $P_1$  まで上昇するまでの時間を短縮させ

10

20

30

40

50

ることができる。尚、 $L_1 < L_0$ の場合も同様に、均熱板 6 の温度が  $P_1$  まで下降するまでの時間を短縮させることができる。

【0072】

ステップ S 1 4 0

再び、図 9 に戻って動作を説明する。ステップ S 8 0 ~ S 1 0 1 及びステップ S 1 1 0 ~ S 1 3 1 の処理と平行して、電極温度センサ 2 3 が放電電極 3 の温度を測定する。測定は放電電極 3 の温度の経時変化が求められるように、一定の間隔を置いて複数回行われる。電極温度センサ 2 3 は、測定した温度の結果を制御装置 9 に通知する。

【0073】

ステップ S 1 5 0

電極温度センサ 2 3 から測定結果を取得した制御装置 9 は、放電電極 3 の温度の単位時間当たりの変化率を計算する。

【0074】

ステップ S 1 6 0

制御装置 9 は、計算した単位時間当たりの放電電極 3 の温度の変化率が、所定の値を超えている場合には、電極用ポンプ 2 1 が送出する電極用熱媒体の流量の増量を決定し、電極用ポンプ 2 1 へ通知する。放電電極 3 の温度の変化率が、所定の値以下となると、制御装置 9 は、電極用ポンプ 2 1 に対して、流量を元に戻すように指示する。

【0075】

図 1 2 は、 $T_1 > T_0$  の場合についてのステップ S 7 0 ~ S 9 0 までの処理における、電極用ポンプ 2 1 の流量、電極用熱媒体温度、及び放電電極 3 の温度の挙動を説明する図である。時刻  $t_0$  において、電極用熱媒体の温度の設定が  $T_0$  から  $T_1$  に変更される。電極用熱媒体の温度は  $t_0$  以降に  $T_1$  へ近づいていく。電極用熱媒体の温度が上昇するに伴ない、放電電極 3 の温度も  $T_1$  に対応する  $D_1$  へ近づいていく。但し、電極用熱媒体の温度が変化してから、実際に放電電極 3 の温度が変化し始めるまでには、時間を要する。放電電極 3 の温度の上昇率が所定の値を超えた時刻  $t_3$  において、制御装置 9 が電極用ポンプ 2 1 の流量の増量を指示する。これにより、電極用ポンプ 2 1 の流量が、 $R_0$  から  $R_1$  に変更される。電極用ポンプ 2 1 の流量が増えることで、放電電極 3 内部を流れる電極用熱媒体から放電電極への熱伝導が加速される。これは、放電電極 3 と電極用熱媒体との間の熱伝導率が上昇することに加えて、熱が奪われる前の温度  $T_1$  の電極用熱媒体が次々と放電電極へ供給されることによる。よって、放電電極 3 の温度が、 $D_0$  から  $D_1$  に達するまでの時間が短縮される。放電電極 3 の温度が  $D_1$  に近づき、放電電極 3 の温度の上昇率が所定の値以下となる時刻  $t_4$  において、電極用ポンプ 2 1 の流量は元の流量  $R_0$  に戻される。時刻  $t_4$  以降は、放電電極 3 の温度は  $D_1$  を維持する。尚、 $T_1 < T_0$  の場合においても同様に、放電電極 3 の温度が  $D_1$  となるまでの時間が短縮される。

電極用ポンプ 2 1 及び均熱板用ポンプ 2 2 から送出する熱媒体の流量の値は、初期値  $R_0$  を基板表面温度、Rf パワー、及び製膜圧力の設定値に基いて、テーブル 8 を参照して取得してもいい。熱媒体の流量  $R_1$  は PI 制御などを用いて、短時間に目標温度になるように適切に制御される。また事前検証により  $R_1$  をテーブル 8 から取得してもいい。また事前検証により所定の時刻  $t_0$  から時刻  $t_3$ 、時刻  $t_4$  までの時間を設定しておき、所定の時間  $t_3$  から所定の時間  $t_4$  になるまでの熱媒体流量を  $R_1$  へ制御し、所定の時間経過後は初期流量値  $R_0$  としてもいい。

【0076】

ステップ S 1 7 0

再び図 9 に戻り説明を行う。ステップ S 8 0 ~ 1 0 1、ステップ S 1 1 0 ~ S 1 3 1、及びステップ S 1 4 0 ~ S 1 6 0 の処理と平行して、均熱板温度センサ 2 4 が均熱板 6 の温度を測定する。測定は均熱板 6 の温度の経時変化が求められるように、一定の間隔を置いて複数回行われる。均熱板温度センサ 2 4 は、測定した温度の結果を制御装置 9 に通知する。

【0077】

10

20

30

40

50

## ステップ S 1 7 1

均熱板温度センサ 2 4 から測定結果を取得した制御装置 9 は、均熱板 6 の温度の単位時間当たりの変化率を計算する。

【 0 0 7 8 】

## ステップ S 1 7 2

制御装置 9 は、計算した単位時間当たりの均熱板 6 の温度の変化率が、所定の値を超えている場合には、均熱板用ポンプ 2 2 が送出する均熱板用熱媒体の流量の増量を決定し、均熱板用ポンプ 2 2 へ通知する。均熱板 6 の温度の変化率が、所定の値以下となると、制御装置 9 は、均熱板用ポンプ 2 2 に対して、流量を元に戻すように指示する。

【 0 0 7 9 】

図 1 3 は、 $L_1 > L_0$  の場合についてのステップ S 1 0 0 ~ S 1 2 0 までの処理における、均熱板用ポンプ 2 1 の流量、均熱板用熱媒体温度、及び均熱板 6 の温度の挙動を説明する図である。時刻  $t_0$  において、均熱板用熱媒体の温度の設定が  $L_0$  から  $L_1$  に変更される。均熱板用熱媒体の温度は  $t_0$  以降に  $L_1$  へ近づいていく。均熱板用熱媒体の温度が上昇するに伴い、均熱板 6 の温度も  $P_1$  へ近づいていく。但し、均熱板用熱媒体の温度が変化してから、実際に均熱板 6 の温度が変化し始めるまでには、時間を要する。均熱板 6 の温度の上昇率が所定の値を超えた時刻  $t_5$  において、制御装置 9 が均熱板用ポンプ 2 2 の流量の増量を指示する。これにより、均熱板用ポンプ 2 2 の流量  $M$  が、初期の流量  $M_0$  から  $M_1$  に変更される。均熱板用ポンプ 2 2 の流量が増えることで、均熱板 6 内部を流れる均熱板用熱媒体から均熱板 6 に対する熱伝導が加速される。よって、均熱板 6 の温度が、 $P_0$  から  $P_1$  に達するまでの時間が短縮される。均熱板 6 の温度が  $L_1$  に近づき、均熱板 6 の温度の上昇率が所定の値以下となる時刻  $t_6$  において、均熱板用ポンプ 2 2 の流量は元の流量  $M_0$  に戻される。時刻  $t_4$  以降は、均熱板 6 の温度は  $P_1$  を維持する。尚、 $L_1 < L_0$  の場合においても同様に、均熱板 6 の温度が  $P_1$  となるまでの時間が短縮される。

【 0 0 8 0 】

( 第 3 の実施の形態 )

図 1 4 は本発明の第 3 の実施の形態に係る製膜装置 1 の構成を概略的に示す図である。本実施の形態に係る製膜装置 1 においては、第 1 の実施の形態に係る構成において、電極用ポンプ 2 1 と均熱板用ポンプ 2 2 とが共通であり、ポンプ 2 0 として追加されている。電極温度調節装置 4 により電極用熱媒体の温度が調節されたのち、ポンプ 2 0 から電極用熱媒体が送出される。送出された電極用熱媒体は放電電極 3 内を流れ、放電電極 3 を出た電極用熱媒体は均熱板温度調節装置 7 によって温度を調節される。均熱板温度調節装置 7 により温度が調節された電極用熱媒体は、均熱板用熱媒体として均熱板 6 内部を流れる。即ち、電極用熱媒体と均熱板用熱媒体は共通である。均熱板 6 の内部を流れた均熱板用熱媒体は、電極温度調節装置 4 により温度を調節される。電極温度調節装置 4 により温度を調節された均熱板用熱媒体は、再び電極用熱媒体として、ポンプ 2 0 へ循環する。即ち、電極用熱媒体と均熱板用熱媒体の循環経路は共通である。その他の部分の構成は、第 1 の実施の形態に係る製膜装置 1 の構成と同じである。

【 0 0 8 1 】

本実施の形態に係る製膜装置 1 の動作方法は、第 1 の実施の形態における動作方法と同様であるので、説明を省略する。本実施の形態に依れば、電極用熱媒体が循環する経路と均熱板用熱媒体が循環する経路を共通とすることにより、システムが簡素化する。また、電極用熱媒体と均熱板用熱媒体を共通とすることで、熱媒体量が低減するのでコストが低減される。更に、電極用ポンプ 2 1 と均熱板用ポンプ 2 2 もポンプ 2 0 として共通化できるためにポンプは一つでよく、設置コストが更に低減される。

基板表面温度を  $200$  として製膜する際は、放電電極 3 と均熱板 6 とでは、放電電極 3 の温度が均熱板温度より  $30$  から  $60$  低い傾向にある。よって、温度の低い放電電極 3 へ先に熱媒体が流れることで、放電電極 3 から熱量を受け取り、温度が若干上昇した熱媒体を均熱板温度調整装置 7 で目標温度の  $200$  に追加加熱して、均熱板 6 へ送出する。均熱板用熱媒体がある第 1 の実施形態と比較して、均熱板 6 へ流れる前に均熱板温度

10

20

30

40

50

調節装置 7 によって熱媒体の熱量を奪い去る必要がない。均熱板温度調節装置 7 が奪う熱量がなく熱媒体の加熱を行い、製膜室 30 で放熱が必要な熱量は電極温度調節装置 4 でまとめて奪い取ることができる。各温度調節装置の加熱と冷却の機能を分担できることで、コストが低減される。

また、セルフクリーニング実施時を考えると、放電電極 3 における発熱量の熱吸収量が多くなる場合がある。このときは均熱板温度調整装置 7 では熱媒体の過熱ではなく若干の熱量を奪い去る機能を設けて、放電電極 3 を出てきた熱媒体を若干冷却することが必要になる場合がある。しかしながら各温度調節装置の加熱と冷却の機能を単独で十分に保有する必要はなく、コストが低減される。

【0082】

10

(第4の実施の形態)

本実施の形態に係る製膜装置 1 の構成は、第 2 の実施形態に係る製膜装置 1 に対して、製膜室 30 に投入される前の基板 2 の温度を測定する基板温度センサ 25 (図示せず) が追加される。基板温度センサ 25 は、投入される前の基板 2 の温度を測定すると、測定結果を制御装置 9 に通知する機能を有している。基板温度センサ 25 以外の構成に付いては、第 1 の実施の形態と同様であるので、説明は省略される。

【0083】

本実施の形態に係る製膜装置 1 は、第 2 の実施の形態に係る製膜装置 1 の動作方法に対して、製膜を行う前に以下のように動作する点が追加される。図 15 は、本実施の形態に係る製膜装置 1 の、製膜が開始される前までの動作の流れを示すフローチャートである。

20

【0084】

ステップ S 175

製膜室 30 内に基板 2 が搬入される前に、基板温度センサ 25 が基板 2 の温度を測定する。基板温度センサ 25 は、測定の結果を制御装置 9 に通知する。

【0085】

ステップ S 176

続いて、制御装置 9 は、基板 2 の製膜をする際の基板表面温度、Rf パワー、及び製膜圧力を設定値として読み込む。制御装置 9 は、基板表面温度の設定値と、基板温度センサ 25 から取得した基板 2 の温度と、を比較して、その差が予め設定された所定の値より大きいかなかを判断する。その差が所定の値よりも大きい場合にはステップ S 180 へと進む。一方、所定の値よりも小さい場合には図 7 のステップ S 20 へ進み、以下は第 1 の実施の形態と同様の動作を行う。

30

【0086】

ステップ S 180

続いて、制御装置 9 は、テーブル 8 を参照して、基板表面温度、Rf パワー、及び製膜圧力の設定値に対応した均熱板の温度  $P_1$  を取得する。ここで制御装置 9 は、更に、均熱板の温度  $P_1$  に対応する均熱板用熱媒体の温度  $L_1$  も取得する。

【0087】

ステップ S 190

続いて、制御装置 9 は取得した温度  $P_1$  に対して所定の温度  $P_{1+}$  を加算し、均熱板温度を  $P_{1+}$  に設定する。

40

【0088】

ステップ S 200

次に、制御装置 9 は再びテーブル 8 を参照して、設定した温度  $P_{1+}$  に対応する均熱板用熱媒体の温度  $L_{1+}$  を取得する。制御装置 9 は、取得した均熱板用熱媒体の温度  $L_{1+}$  を、均熱板温度制御装置 7 に通知する。

【0089】

ステップ S 210

均熱板温度調節装置 7 は、通知された温度  $L_{1+}$  となるように、均熱板用熱媒体の温度を調節する。

50

## 【0090】

ステップS211、S212

続いて、基板2が製膜室30内に搬入される。制御装置9は、製膜開始前の所定の時間になると、均熱板調整装置7に対して、調整する均熱板用熱媒体の温度を $L_1+$ から $L_1$ に変更するように指示する。均熱板調整装置7は、均熱板用熱媒体の温度を $L_1$ に調整する。その後、放電電極3に電圧が印加され、基板2に対する製膜が行われる。

ここで所定の時間とは、均熱板6の温度を計測しながら目標温度に近づいた時点で所定時間として制御装置9に通知してもいい。また、所定時間をシミュレーション計算により予め計算しておき、テーブル8からの受け取り情報に織り込んでおいてもよい。したがって、均熱板用熱媒体の温度は、所定の時間までは $L_1+$ で制御し、所定の時間経過後は取得した温度 $L_1$ で動作を制御する。

## 【0091】

製膜室30内に搬入された直後の基板2は、製膜時の温度よりも約数10低い場合がある。従って、基板2が搬入されると、均熱板6から基板テーブル5を介して基板2へ熱が移動する。均熱板6の温度は、投入前の基板温度にも依るが熱の移動により、設定されている温度よりも数から数10低くなる。本実施の形態に依れば、基板搬入時において、均熱板6の温度が、製膜時の設定温度である $P_1$ よりも高い $P_1+$ に設定されるので、このような熱の移動による均熱板6の温度の低下を抑制することができる。

## 【0092】

(第5の実施の形態)

本実施の形態に係る製膜装置1の構成は、第2の実施形態に係る製膜装置1と同様であるので、説明は省略する。本実施の形態に係る製膜装置1は、第2の実施の形態に係る製膜装置1の動作方法に対して、セルフクリーニングを行う際に、以下のように動作する点が追加される。図16は、本実施の形態に係る製膜装置1の、セルフクリーニング時の動作の流れを示すフローチャートである。

## 【0093】

ステップS220、230、235、240、245

まず、制御装置9がセルフクリーニングモードに設定される。セルフクリーニングモードでは、セルフクリーニング時における放電電極3の温度と、均熱板6の温度、圧力、及びRfパワーの値が設定される。これらの設定は、ユーザによって図示しない入力装置を介して制御装置9に通知されることで設定されてもよいし、予め記憶装置に記憶されていた値を読み込むことで設定されてもよい。

## 【0094】

ステップS250、260

続いて、制御装置9はテーブル8を参照して、設定された放電電極3の温度、Rfパワー、及び圧力に基づいて、電極用熱媒体の温度 $D_s$ を取得する。更に、設定された均熱板6の温度、Rfパワー、及び圧力に基づいて均熱板用熱媒体の温度 $P_s$ を取得する。制御装置9は、取得した電極用熱媒体の温度 $T_s$ 及び均熱板用熱媒体の温度 $L_s$ を、電極温度調節装置4及び均熱板温度調節装置7に通知する。

## 【0095】

ステップS270

電極用熱媒体の温度 $T_1$ の通知を受けた電極温度調節装置4は、電極用熱媒体の温度が $T_1$ となるように動作する。また、均熱板用熱媒体の温度 $L_s$ の通知を受けた均熱板温度調節装置7は、均熱板用熱媒体の温度が $L_s$ となるように動作する。これと同時に、設定されたPfパワー、及び圧力下において、セルフクリーニングが実行される。

## 【0096】

セルフクリーニングは、 $NF_3$ などのフッ素系ガスをプラズマで分解してフッ素ラジカルを発生させて、製膜処理時に製膜室30の内部、特に放電電極3や基板テーブル周辺に付着した膜や粉類を除去する。

$Si + 4 \times F$ ラジカル  $SiF_4 + 1439 \text{ kJ/mol}$

10

20

30

40

50

セルフクリーニングは、製膜時より放電電極 3 の温度が高温（例示：160）に設定されるとともに、高 R f パワーで長時間のクリーニングプラズマを発生させることが実施される。製膜時より高温、且つ、高 R f パワーで長時間のプラズマを発生させることによる熱量に加えて、セルフクリーニング時のエッチング反応として発生する熱量があり、製膜室 30 内における熱が蓄積が大きくなる。製膜室 30 内における熱の蓄積は、放電電極 3 の温度を上昇させやすい。放電電極 3 の温度が過度に上昇すると、放電電極 3 を構成する部材が焼損したりフッ素系ガスによる腐食が増加する恐れがある。一方で、放電電極 3 の温度が低いと、エッチング速度が遅くなり、クリーニングが効率よく行われぬ。よって、放電電極 3 の温度は設定された温度に精度よく維持されることが望まれる。本実施の形態に依れば、電極用熱媒体の温度を調節することにより、間接的に放電電極 3 の温度を調節するので、放電電極 3 の温度を精度よくコントロールすることができる。また均熱板 6 の温度制御も同様にコントロールすることができる。

10

## 【0097】

なお、第 1 の実施形態から第 4 の実施形態は各々組み合わせて実施して、更に運用性の高い放電電極 3 の温度と均熱板 6 の温度の制御を実施してもよい。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0098】

【図 1】従来の製膜装置の構成の示す例図である。

【図 2 A】基板の反りを説明する図である。

【図 2 B】基板の反りを説明する図である。

20

【図 3】基板への入出熱を説明する図である。

【図 4 A】第 1 の実施形態に係る製膜装置の構成を示すブロック図である。

【図 4 B】放電電極の構造を示す図である。

【図 4 C】図 4 B における B - B 断面を示す図である。

【図 4 D】均熱板内部の流路の構造を示す図である。

【図 5】製膜室 30 の断面を示す図である。

【図 6 A】テーブル 8 に格納されたデータを示す概念図である。

【図 6 B】テーブル 8 に格納されたデータを示す概念図である。

【図 7】第 1 の実施の形態に係る製膜装置の動作の流れを示すフローチャートである。

【図 8】第 2 の実施の形態に係る製膜装置の構成を示すブロック図である。

30

【図 9】第 2 の実施の形態に係る製膜装置の動作の流れを示すフローチャートである。

【図 10】第 2 の実施の形態において、電極用熱媒体の実際の温度、放電電極 3 の温度、及び設定された電極用熱媒体の温度  $T$  の挙動を  $T_1 > T_0$  の場合について説明する図である。

【図 11】第 2 の実施形態において、均熱板用熱媒体の実際の温度、均熱板 6 の温度、及び設定された均熱板用熱媒体の温度  $L$  の挙動を、 $L_1 > L_0$  の場合について説明する図である。

【図 12】第 2 の実施形態において、電極用ポンプ 21 の流量、電極用熱媒体温度、及び放電電極 3 の温度の挙動を説明する図である。

【図 13】第 2 の実施形態において、均熱板用ポンプ 21 の流量、均熱板用熱媒体温度、及び均熱板 6 の温度の挙動を説明する図である。

40

【図 14】第 3 の実施の形態に係る製膜装置の構成を示すブロック図である。

【図 15】第 4 の実施の形態に係る製膜装置の動作の流れを示すフローチャートである。

【図 16】第 5 の実施の形態に係る製膜装置の動作の流れを示すフローチャートである。

## 【符号の説明】

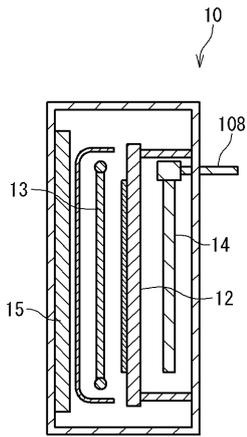
## 【0099】

- |   |          |
|---|----------|
| 1 | 製膜装置     |
| 2 | 基板       |
| 3 | 放電電極     |
| 4 | 電極温度調節装置 |

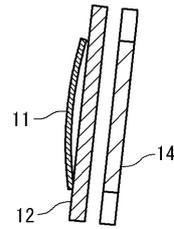
50

5	基板テーブル	
6	均熱板	
7	均熱板温度調節装置	
8	テーブル	
9	制御装置	
10	製膜装置	
11	基板	
12	基板テーブル	
13	放電電極	
14	棒状ヒータ	10
15	ヒートシンク	
16	防着板	
20	ポンプ	
21	電極用ポンプ	
22	均熱板用ポンプ	
23	電極温度センサ	
24	均熱板温度センサ	
25	基板温度センサ	
30	製膜室	
31	循環経路	20
32	循環経路	
33	循環経路	
35	縦方向電極棒	
36	横方向電極棒	
37	ヘッダー	
38	ガス噴出し孔	
39	ガス通路	
40	ガス管	
41	熱媒体通路	
42	媒体管	30
43	流路	
44	配管	
45	配管	

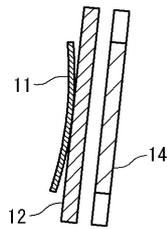
【 図 1 】



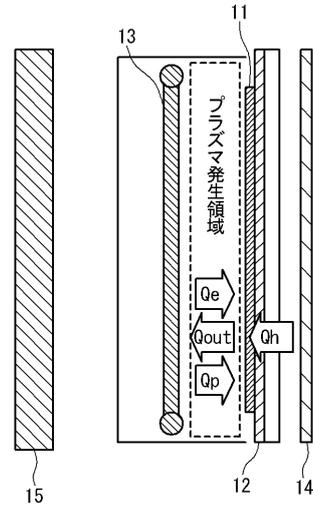
【 図 2 B 】



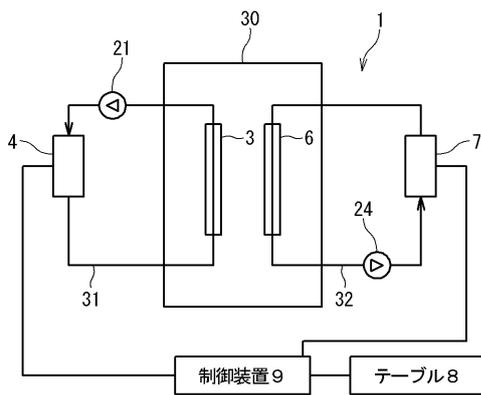
【 図 2 A 】



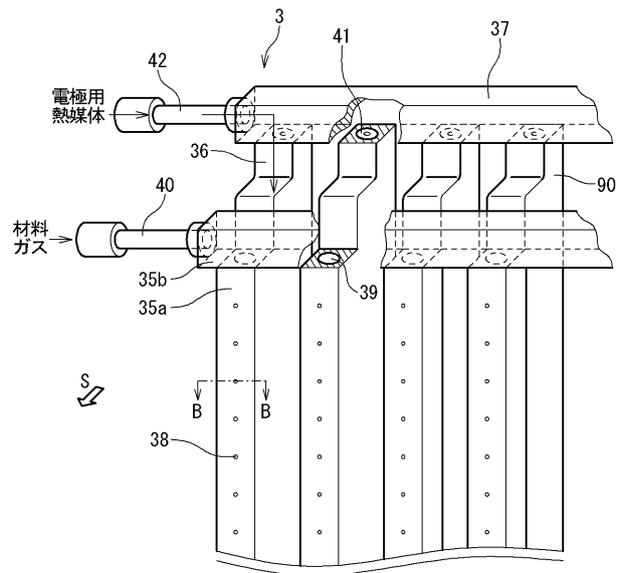
【 図 3 】



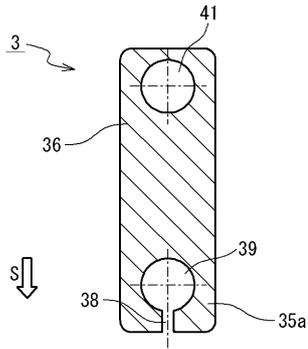
【 図 4 A 】



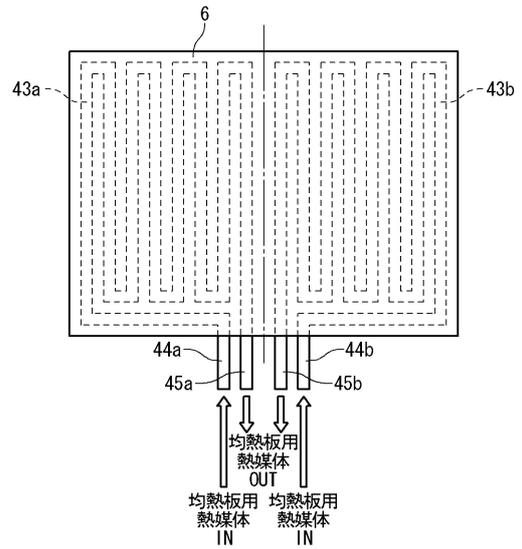
【 図 4 B 】



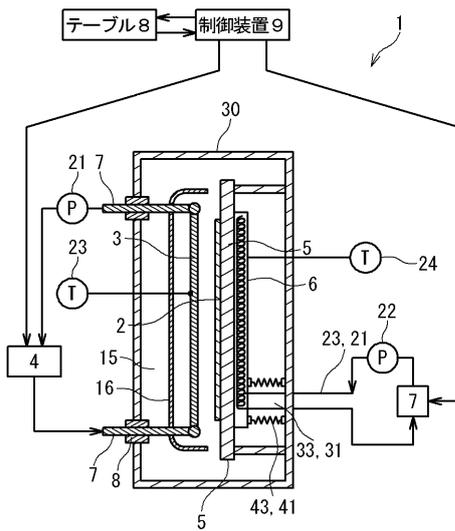
【 図 4 C 】



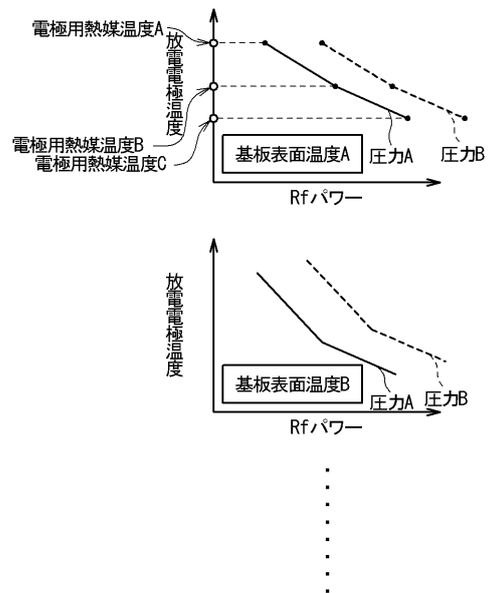
【 図 4 D 】



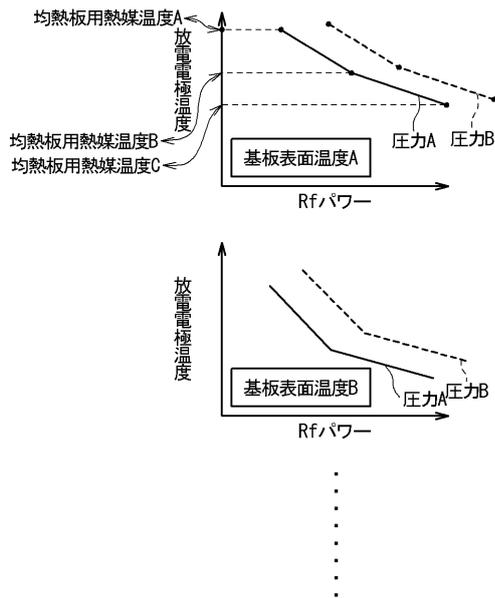
【 図 5 】



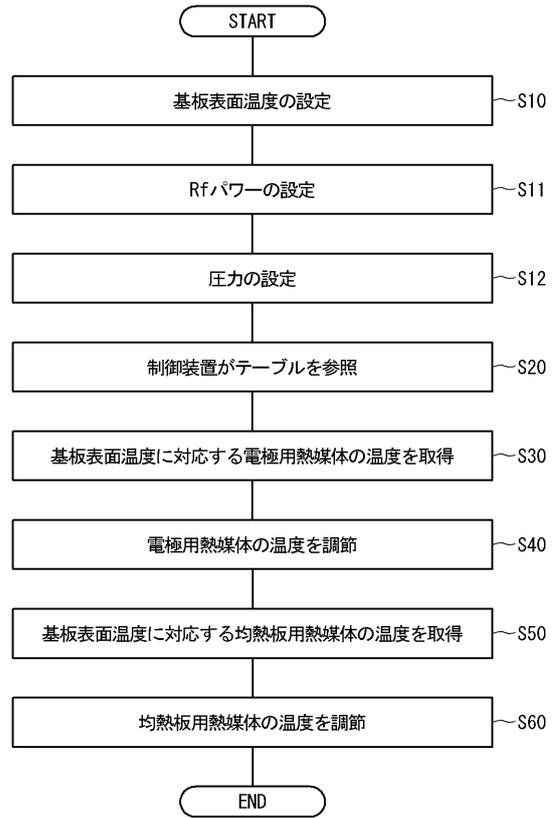
【 図 6 A 】



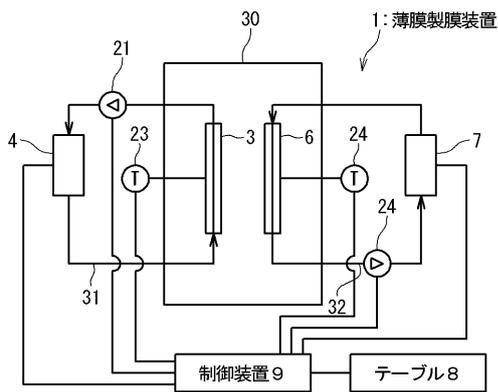
【 図 6 B 】



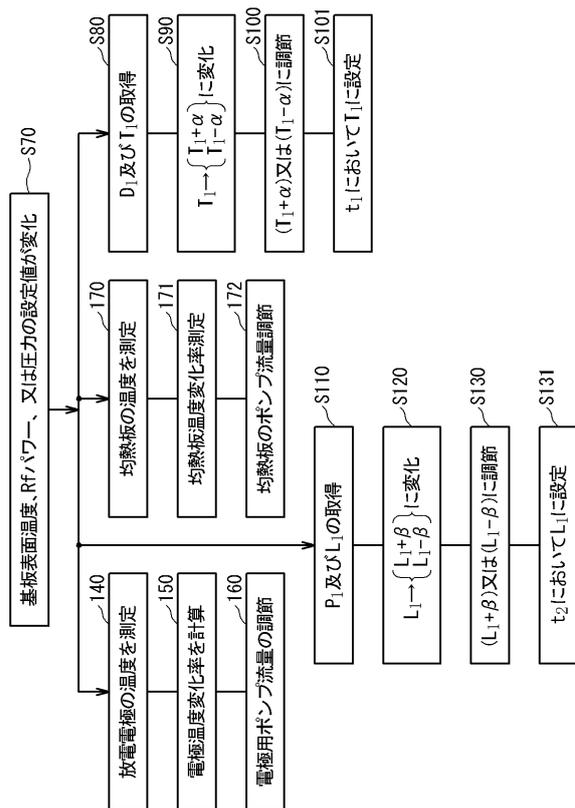
【 図 7 】



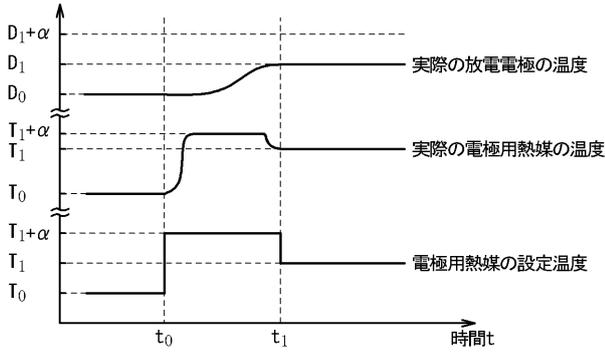
【 図 8 】



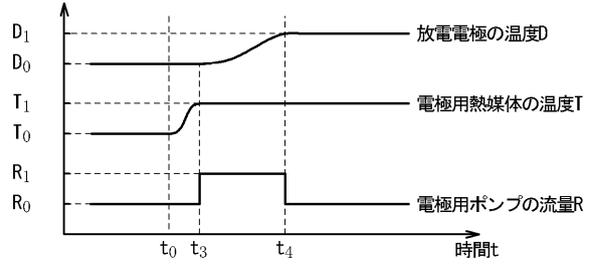
【 図 9 】



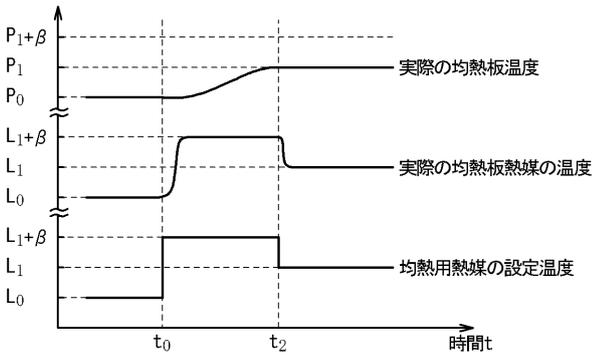
【図10】



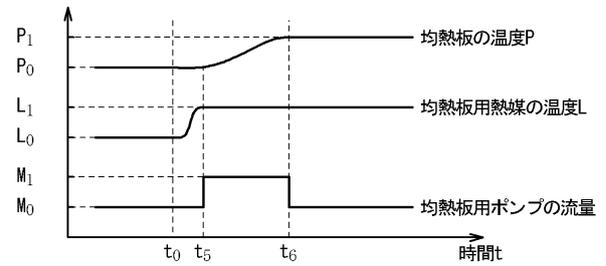
【図12】



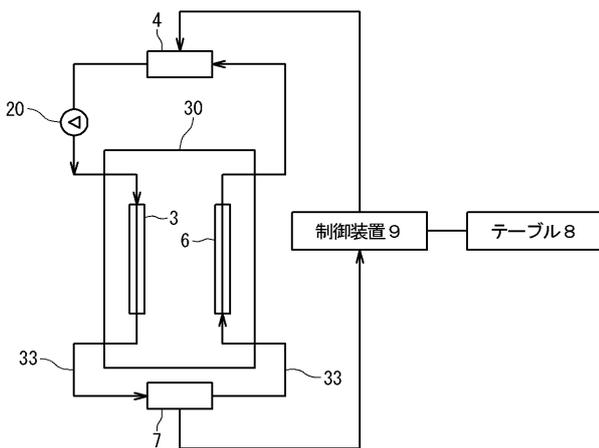
【図11】



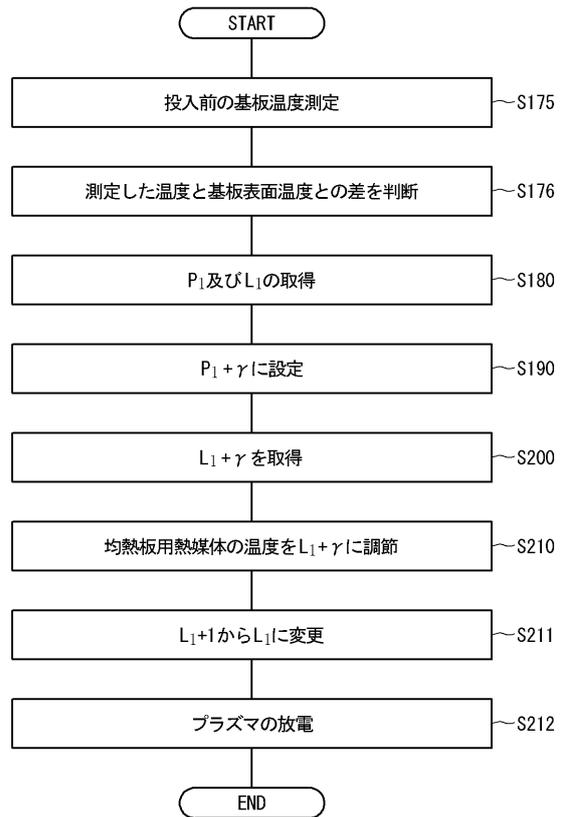
【図13】



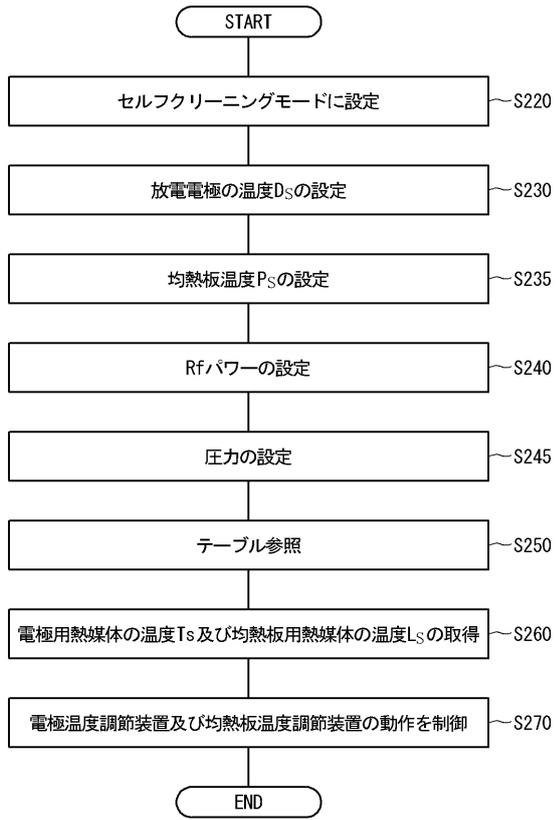
【図14】



【図15】



【 図 1 6 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 川村 啓介

長崎県長崎市深堀町五丁目7-17番1号 三菱重工業株式会社長崎研究所内

(72)発明者 宮園 直之

長崎県長崎市飽の浦町1番1号 三菱重工業株式会社長崎造船所内

(72)発明者 笹川 英四郎

長崎県長崎市飽の浦町1番1号 三菱重工業株式会社長崎造船所内

Fターム(参考) 4K030 DA06 FA03 KA15 KA17 KA22 KA39 KA41

5F004 AA15 BA04 BB18 BB26 BD04 CA04

5F045 AA08 AB04 AD05 AD06 AF07 CA13 GB05 GB16