

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7704891号  
(P7704891)

(45)発行日 令和7年7月8日(2025.7.8)

(24)登録日 令和7年6月30日(2025.6.30)

(51)国際特許分類	F I
H 0 1 L 21/31 (2006.01)	H 0 1 L 21/31 B
H 0 1 L 21/318 (2006.01)	H 0 1 L 21/318 B
C 2 3 C 16/46 (2006.01)	C 2 3 C 16/46

請求項の数 19 (全16頁)

(21)出願番号	特願2023-566080(P2023-566080)	(73)特許権者	318009126 株式会社 K O K U S A I E L E C T R I C 東京都千代田区神田鍛冶町 3 丁目 4 番地
(86)(22)出願日	令和4年6月17日(2022.6.17)	(74)代理人	110001519 弁理士法人太陽国際特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2022/024429	(72)発明者	杉浦 忍 富山県富山市八尾町保内二丁目 1 番地 株式会社 K O K U S A I E L E C T R I C 内
(87)国際公開番号	WO2023/105821	(72)発明者	小杉 哲也 富山県富山市八尾町保内二丁目 1 番地 株式会社 K O K U S A I E L E C T R I C 内
(87)国際公開日	令和5年6月15日(2023.6.15)	審査官	桑原 清
審査請求日	令和6年5月20日(2024.5.20)		
(31)優先権主張番号	特願2021-197882(P2021-197882)		
(32)優先日	令和3年12月6日(2021.12.6)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 天井ヒータ、半導体装置の製造方法、基板処理方法及び基板処理装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反応管の上方に設けられる天井ヒータであって、  
円板状の基材と、  
前記基材の中央を中心とする円を扇形状に分割した複数の領域に亘って連続して前記基  
材上に敷き詰められた発熱体と、を備え、  
前記複数の領域内において敷き詰められたそれぞれの発熱体は、隣接する領域の発熱体  
と、所定の一箇所で接続され、  
前記基材は、前記発熱体の形状に対応する溝を有し、前記溝が設けられている箇所以外  
の箇所により壁が形成され、互いに隣接する 2 つの領域内においてそれぞれ敷き詰められ  
た発熱体の間隔は、当該 2 つの領域間を隔てている壁の幅よりも広くなるよう構成されて  
いる、  
天井ヒータ。

【請求項 2】

前記発熱体は、それぞれの領域内において円周方向に延び、当該領域の円周方向の端部  
で折り返して蛇行するように敷き詰められる請求項 1 記載の天井ヒータ。

【請求項 3】

前記発熱体は、隣接する領域の発熱体と、前記円の円周側又は中心側で接続される請求  
項 1 記載の天井ヒータ。

【請求項 4】

前記領域間を隔てる壁と最も円周側の前記発熱体との間の距離は、前記最も円周側の発熱体の塑性変形による伸長量よりも長くなるよう構成されている請求項 1 に記載の天井ヒータ。

【請求項 5】

前記領域間を隔てる壁と最も円周側の前記発熱体との間の距離は、前記最も円周側の発熱体の塑性変形による伸長量よりも長くなるよう構成されている請求項 3 に記載の天井ヒータ。

【請求項 6】

前記基材又は前記発熱体の上方は少なくとも一部が開放されている請求項 1 に記載の天井ヒータ。

【請求項 7】

前記複数の領域の境界に沿って放射状に延びる腕部を有する蓋部材をさらに備え、前記発熱体が折り返す箇所である折り返し部が、前記基材と前記蓋部材との間に保持される請求項 1 に記載の天井ヒータ。

【請求項 8】

前記複数の領域は、前記基材の中央を中心とする円を 8 以上の扇形状に分割することにより形成される請求項 1 に記載の天井ヒータ。

【請求項 9】

前記発熱体が円弧状に連続して形成される区間の中心角の最大角度は 90 度以下である請求項 1 に記載の天井ヒータ。

【請求項 10】

前記領域内で円周方向に延びるように敷き詰められる発熱体の側部と、前記基材の前記壁との間の距離は、前記円の中心側よりも円周側の方が長くなるよう構成されている請求項 2 に記載の天井ヒータ。

【請求項 11】

前記基材は、透明な石英を含む請求項 1 に記載の天井ヒータ。

【請求項 12】

前記溝は、粗面化された底を有する請求項 1 に記載の天井ヒータ。

【請求項 13】

前記基材は、前記発熱体の底面全体を実質的に支えることが可能に構成される請求項 1 に記載の天井ヒータ。

【請求項 14】

前記基材及び前記蓋部材は、電気絶縁性を有する請求項 7 に記載の天井ヒータ。

【請求項 15】

前記発熱体は、回転対称性を有する請求項 2 に記載の天井ヒータ。

【請求項 16】

前記発熱体は、回転対称性を有する請求項 3 に記載の天井ヒータ。

【請求項 17】

反応管の上方に設けられる天井ヒータであって、円板状の基材と、前記基材の中央を中心とする円を扇形状に分割した複数の領域に亘って連続して前記基材上に敷き詰められた発熱体と、を備え、前記複数の領域内において敷き詰められたそれぞれの発熱体は、隣接する領域の発熱体と、所定の一箇所で接続され、前記基材は、前記発熱体の形状に対応する溝を有し、前記溝が設けられている箇所以外の箇所により壁が形成され、互いに隣接する 2 つの領域内においてそれぞれ敷き詰められた発熱体の間隔は、当該 2 つの領域間を隔てている壁の幅よりも広くなるよう構成されている、前記天井ヒータの発熱量を制御して、前記反応管内の基板を加熱する工程と、

前記基板に処理ガスを供給して、前記基板を処理する工程と、  
を備える半導体装置の製造方法。

【請求項 18】

反応管の上方に設けられる天井ヒータであって、円板状の基材と、前記基材の中央を中

10

20

30

40

50

心とする円を扇形状に分割した複数の領域に亘って連続して前記基材上に敷き詰められた発熱体と、を備え、前記複数の領域内において敷き詰められたそれぞれの発熱体は、隣接する領域の発熱体と、所定の一箇所で接続され、前記基材は、前記発熱体の形状に対応する溝を有し、前記溝が設けられている箇所以外の箇所により壁が形成され、互いに隣接する２つの領域内においてそれぞれ敷き詰められた発熱体の間隔は、当該２つの領域間を隔てている壁の幅よりも広くなるよう構成されている、前記天井ヒータを制御して、前記反応管内の基板を加熱する工程と、

前記基板に処理ガスを供給して、前記基板を処理する工程と、  
を備える基板処理方法。

【請求項１９】

10

反応管と、

前記反応管の上方に設けられる円板状の基材と、前記基材の中央を中心とする円を扇形状に分割した複数の領域に亘って連続して前記基材上に敷き詰められた発熱体と、を備え、前記複数の領域内において敷き詰められたそれぞれの発熱体は、隣接する領域の発熱体と、所定の一箇所で接続され、前記基材は、前記発熱体の形状に対応する溝を有し、前記溝が設けられている箇所以外の箇所により壁が形成され、互いに隣接する２つの領域内においてそれぞれ敷き詰められた発熱体の間隔は、当該２つの領域間を隔てている壁の幅よりも広くなるよう構成されている、天井ヒータと、  
を備える基板処理装置。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【０００１】

本開示は、天井ヒータ、半導体装置の製造方法、基板処理方法及び基板処理装置に関する。

【背景技術】

【０００２】

半導体装置の製造工程の一工程として、処理容器内をヒータにより加熱しながら、処理容器内に載置された基板上に膜を形成する処理が行われることがある（例えば特許文献１～特許文献３参照）。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【０００３】

【文献】特開２００４－３２７５２８号公報

【文献】国際公開第２０１８／１００８５０号パンフレット

【文献】国際公開第２０２０／１４５１８３号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

本開示は、発熱体の変形を抑制可能な技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

40

【０００５】

本開示の一態様によれば、

反応管の上方に設けられる天井ヒータであって、

円板状の基材と、

前記基材の中央を中心とする円を扇形状に分割した複数の領域に亘って連続して前記基材上に敷き詰められた発熱体と、を備え、

前記複数の領域内において敷き詰められたそれぞれの発熱体は、隣接する領域の発熱体と、所定の一箇所で接続され、

前記基材は、前記発熱体の形状に対応する溝を有し、前記溝が設けられている箇所以外の箇所により壁が形成され、互いに隣接する２つの領域内においてそれぞれ敷き詰められ

50

た発熱体の間隔は、当該２つの領域間を隔てている壁の幅よりも広くなるよう構成されている天井ヒータを用いる、  
技術が提供される。

【発明の効果】

【０００６】

本開示によれば、発熱体の変形を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【０００７】

【図１】本開示の一実施形態における基板処理装置を示す縦断面図である。

【図２】本開示の一実施形態における基板処理装置における制御装置の構成を示す模式図である。

10

【図３】本開示の一実施形態における基板処理工程を示すフロー図である。

【図４】本開示の一実施形態における天井ヒータの取り付け状態を示す図である。

【図５】図４に示す天井ヒータの一部を示す拡大断面図である。

【図６】本開示の一実施形態における天井ヒータの発熱体を示す上面図である。

【図７】本開示の一実施形態における天井ヒータの基材を示す上面図である。

【図８】本開示の一実施形態における天井ヒータの蓋部材を示す上面図である。

【図９】本開示の一実施形態における天井ヒータを示す上面図である。

【図１０】図９に示す天井ヒータの最外周に配置される発熱体の折り返し部周辺を示す拡大図である。

20

【図１１】本開示の一実施形態における天井ヒータの変形例を示す上面図である。

【発明を実施するための形態】

【０００８】

(１) 基板処理装置の構成

以下、実施形態について、図面を用いて説明する。ただし、以下の説明において、同一構成要素には同一符号を付し繰り返しの説明を省略することがある。なお、図面は説明をより明確にするため、実際の態様に比べ、各部の幅、厚さ、形状等について模式的に表される場合があるが、あくまで一例であって、本開示の解釈を限定するものではない。

【０００９】

基板処理装置１０は、図１に示すように、円筒状の加熱装置１２と、加熱装置１２の内部に炉内空間１４をもって収容された円筒状の反応管１６と、反応管１６内に処理対象の基板１８を保持する基板保持具としてのポート２０とを備えている。ポート２０は基板１８を水平状態で隙間をもって多段に装填でき、この状態で複数枚の基板１８を反応管１６内で保持する。ポート２０はキャップ２２を介して図外のエレベータ上に載置されており、このエレベータにより昇降可能となっている。したがって、基板１８の反応管１６内への装填および反応管１６からの取り出しはエレベータの作動により行われる。

30

【００１０】

また、反応管１６は基板１８を収容する処理室２４を形成しており、反応管１６内にはガス導入管２６が連通され、ガス導入管２６にはガス配管６１ａ、６１ｂ、６１ｃが接続されている。ガス配管６１ａ、６１ｂ、６１ｃには、それぞれ上流から順に流量制御器としてのマスフローコントローラ（ＭＦＣ）６２ａ、６２ｂ、６２ｃ、開閉弁としてのバルブ６４ａ、６４ｂ、６４ｃが設置されている。また、反応管１６内にはガス排気管５６が連通され、処理室２４内の排気を行っている。ガス排気管５６には、上流側から順に圧力センサ６８、圧力調整装置としてのＡＰＣバルブ６６、真空装置としての真空ポンプ６５が設置されている。

40

【００１１】

加熱装置１２は、円筒形状であって、複数の断熱体が積層された構造の断熱構造体の内側に、側方から炉内空間１４を加熱する側方加熱部としての側方発熱部である側部ヒータ３０と、上方から炉内空間１４を加熱する上方加熱部としての上方発熱部である天井ヒータ３１を更に有する構成となっている。天井ヒータ３１は、断熱構造体の上壁部３３下方

50

であって、反応管 16 上方に配置されている。側部ヒータ 30 は基板装填方向に複数に分割されており、例えば上から 4 つのゾーン 30 - 1 ~ 30 - 4 に分割されている。側部ヒータ 30 は、分割された各ゾーンで個別に加熱温度を制御可能に構成されている。天井ヒータ 31 の詳細については後述する。

#### 【0012】

断熱構造体は、円筒形状に形成された断熱部としての側壁部 32 と、側壁部 32 の上端を覆うように形成された断熱部としての上壁部 33 と、を有している。側壁部 32 は複数層構造に形成され、側壁部 32 の複数層のうち外側に形成された側壁外層 32 a と、複数層のうち内側に形成された側壁内層 32 b から構成される。側壁外層 32 a と側壁内層 32 b との間には円筒空間である冷却ガス通路 34 が形成されている。そして、側壁内層 32 b の内側に側部ヒータ 30 が設けられ、側部ヒータ 30 の内側が発熱領域となっている。尚、側壁部 32 は、複数の断熱体が積層された構造であるが、このような構造に限定されないのはいうまでもない。

10

#### 【0013】

側壁外層 32 a の上部には、冷却ガス供給口 36 が形成されている。また、上壁部 33 には、炉内空間 14 に連通する急冷ガス排出口 42 が形成されている。また、側壁外層 32 a の下部には、冷却ガス排出口 43 が形成されている。急冷ガス排出口 42 及び冷却ガス排出口 43 は、排気管 45 a、45 b にそれぞれ接続されて、ダクト 50 で合流される。ダクト 50 には、上流側からラジエータ 52 及び排気ファン 54 が接続されており、これらダクト 50、ラジエータ 52 及び排気ファン 54 を介して加熱装置 12 内の熱せられた冷却ガスが装置外へ排出される。

20

#### 【0014】

ここで、冷却ガス供給口 36 及びダクト 38 a の近傍には、開閉可能な弁 39 a が設けられている。また、急冷ガス排出口 42 及びダクト 50 の近傍には、開閉可能な弁 39 b が設けられている。また、冷却ガス排出口 43 及びダクト 38 b の近傍には、開閉可能な弁 39 c が設けられている。そして、弁 39 b、39 c をダクト 50 又はダクト 38 b 近傍に配置することにより、未使用時の排出口におけるダクトからの対流の影響を少なくし、ダクト周辺での基板内温度均一性を良好にすることができる。

#### 【0015】

更に、弁 39 a の開閉及び排気ファン 54 の ON / OFF により冷却ガスの供給が操作され、弁 39 b 又は弁 39 c の開閉及び排気ファン 54 の ON / OFF により冷却ガス通路 34 を閉鎖及び開放して、急冷ガス排出口 42 又は冷却ガス排出口 43 からそれぞれ冷却ガスを排出する。

30

#### 【0016】

図 2 に示すように、側部ヒータ 30 の各ゾーン 30 - 1、30 - 2、30 - 3、30 - 4 には、それぞれ温度検出器としての第 1 温度センサ 27 - 1、27 - 2、27 - 3、27 - 4 が設置されている。また、天井ヒータ 31 には、第 2 温度センサ 28 が設置されている。また、第 3 温度センサ 29 - 1、29 - 2、29 - 3、29 - 4 が処理室 24 内に設置される。第 3 温度センサは装置立ち上げの際のプロファイル取得時のみに設置し、成膜処理時には処理室 24 内から取り外しされていても良い。

40

#### 【0017】

次に、制御装置 60 の構成について説明する。図 2 に示すように、制御装置 60 は、第 1 温度センサ 27 - 1、27 - 2、27 - 3、27 - 4、第 2 温度センサ 28、第 3 温度センサ 29 - 1、29 - 2、29 - 3、29 - 4、MFC 62 a、62 b、62 c、バルブ 64 a、64 b、64 c、APC バルブ 66、圧力センサ 68 等の構成部分により、制御用コンピュータ 82 から設定された温度および圧力・流量の設定値に基づいて基板処理装置 10 としての半導体製造装置の各構成部分を制御するよう構成されている。

#### 【0018】

温度制御装置 74 は、第 1 の温度センサ 27 - 1 ~ 27 - 4 それぞれにより測定される温度が、制御用コンピュータ 82 により設定された温度になるように、ヒータ駆動装置 7

50

6 - 1 ~ 7 6 - 4 それぞれが側部ヒータ 3 0 の各ゾーン 3 0 - 1 ~ 3 0 - 4 それぞれに供給する電力を制御する。また、第 1 の温度センサ 2 7 - 1 および第 2 の温度センサ 2 8 により測定される温度が、制御用コンピュータ 8 2 により設定された温度、具体的には、上部の基板の温度が所望の温度となるように、ヒータ駆動装置 7 6 - 1、7 6 - 5 それぞれがゾーン 3 0 - 1 と天井ヒータ 3 1 に供給する電力を制御する。

【 0 0 1 9 】

流量制御装置 7 8 は、流量センサが測定するガスの流量の値が、制御用コンピュータ 8 2 により設定されるガス流量の値に等しくなるように、M F C 6 2 a ~ 6 2 c、バルブ 6 4 a ~ 6 4 c をそれぞれ制御して、処理室 2 4 の反応管 1 6 内に導入されるガスの流量を制御する。圧力制御装置 8 0 は、圧力センサ 6 8 が測定する反応管 1 6 内部の圧力が、制御用コンピュータ 8 2 により設定される圧力の値に等しくなるように、A P C バルブ 6 6 等を制御して、処理室 2 4 の圧力を制御する。

10

【 0 0 2 0 】

( 2 ) 基板処理工程

次に、半導体製造装置としての基板処理装置を使用して、半導体装置の製造方法である半導体装置の製造工程の一工程であり、基板を処理する基板処理方法である基板処理工程の概略について図 3 を用いて説明する。この基板処理工程は、例えば、半導体装置を製造するための一工程である。なお、以下の説明において、基板処理装置を構成する各部の動作や処理は、制御装置 6 0 により制御される。

【 0 0 2 1 】

20

ここでは、基板 1 8 に対して、第 1 の処理ガス（原料ガス）と第 2 の処理ガス（反応ガス）とを交互に供給することで、基板 1 8 上に膜を形成する例について説明する。以下、原料ガスとして常温で液体の S i 含有原料ガスである S i 原料ガスを用い、反応ガスとして N 含有原料ガスである N H <sub>3</sub>（アンモニア）ガスを用いて基板 1 8 上に薄膜として S i N（シリコン窒化）膜を形成する例について説明する。なお、例えば、基板 1 8 上には、予め所定の膜が形成されていてもよく、また、基板 1 8 又は所定の膜には予め所定のパターンが形成されていてもよい。

【 0 0 2 2 】

( 基板搬入工程 S 1 0 2 )

まず、基板 1 8 をポート 2 0 に装填し、処理室 2 4 内へ搬入し、基板搬入工程 S 1 0 2 を行う。

30

【 0 0 2 3 】

( 成膜工程 S 1 0 4 )

次に、基板 1 8 の表面上に薄膜を形成する成膜工程 S 1 0 4 を行う。成膜工程は次の 4 つのステップを順次実行する。なお、ステップ 1 ~ 4 の間は、側部ヒータ 3 0 により、基板 1 8 を所定の温度に加熱しておく。また、詳細には後述する天井ヒータ 3 1 により、反応管 1 6 の上方を所定の設定温度に加熱する。所定の設定温度は、原料ガスに応じて適宜設定される。

[ ステップ 1 ]

ステップ 1 では、S i 原料ガスを処理室 2 4 内に供給する。具体的には次の通りである。まず、ガス配管 6 1 a に設けられたバルブ 6 4 a とガス排気管 5 6 に設けた A P C バルブ 6 6 を共に開けて、M F C 6 2 a により流量調節された S i 原料ガスをガス導入管 2 6 に通し、ガス導入管 2 6 に形成されたガス供給孔から処理室 2 4 内に供給しつつ、ガス排気管 5 6 から排気する。この際、処理室 2 4 内の圧力を所定の圧力に保つ。S i 原料ガスの供給により、基板 1 8 の表面にシリコン（S i）を含有した薄膜を形成する。

40

[ ステップ 2 ]

ステップ 2 では、バルブ 6 4 a を閉めて処理室 2 4 内への S i 原料ガスの供給を止める。ガス排気管 5 6 の A P C バルブ 6 6 は開いたままにし、真空ポンプ 6 5 により処理室 2 4 を排気し、残留ガスを処理室 2 4 から排除する。また、ガス配管 6 1 c に設けられたバルブ 6 4 c を開けて、M F C 6 2 c により流量調節された N<sub>2</sub> 等の不活性ガスを処理室 2

50

4 内に供給し、処理室 2 4 内の残留ガスをパージする。

[ ステップ 3 ]

ステップ 3 では、 $\text{NH}_3$  ガスを処理室 2 4 内に供給する。ガス配管 6 1 b に設けられたバルブ 6 4 b とガス排気管 5 6 に設けられた A P C バルブ 6 6 を共に開けて、M F C 6 2 b により流量調節された  $\text{NH}_3$  ガスをガス導入管 2 6 に通し、ガス導入管 2 6 に形成されたガス供給孔から処理室 2 4 に供給しつつ、ガス排気管 5 6 から排気する。また、処理室 2 4 の圧力を所定の圧力に調整する。 $\text{NH}_3$  ガスの供給により、S i 原料ガスが基板 1 8 の表面に形成した S i 薄膜と  $\text{NH}_3$  ガスが反応して、基板 1 8 上に S i N 膜が形成される。

[ ステップ 4 ]

ステップ 4 では、再び不活性ガスによる処理室 2 4 内のパージを行う。バルブ 6 4 b を閉めて、処理室 2 4 内への  $\text{NH}_3$  ガスの供給を止める。ガス排気管 5 6 の A P C バルブ 6 6 は開いたままにし、真空ポンプ 6 5 により処理室 2 4 を排気し、残留ガスを処理室 2 4 から排除する。また、ガス配管 6 1 c に設けられたバルブ 6 4 c を開けて、M F C 6 2 c により流量調節された  $\text{N}_2$  等の不活性ガスを処理室 2 4 内に供給し、処理室 2 4 内の残留ガスをパージする。

10

【 0 0 2 4 】

上記ステップ 1 ~ 4 を 1 サイクルとし、このサイクルを複数回繰り返すことにより基板 1 8 上に所定膜厚の S i N 膜を形成する。

【 0 0 2 5 】

( 基板搬出工程 S 1 0 6 )

20

次に、S i N 膜が形成された基板 1 8 が載置されたボート 2 0 を、処理室 2 4 から搬出する。

【 0 0 2 6 】

本実施形態によれば、少なくとも側部ヒータ 3 0 と天井ヒータ 3 1 により加熱した状態で処理室 2 4 に処理ガスを供給する構成となっている。つまり、ステップ 1 ~ 4 のサイクルを複数回繰り返している間、少なくとも、天井ヒータ 3 1 は反応管 1 6 の上方を加熱し続けており、所定の設定温度を保つようにしている。

【 0 0 2 7 】

( 3 ) 天井ヒータの構成

次に、天井ヒータ 3 1 の詳細について、図 4 ~ 図 1 0 を用いて説明する。以下において、反応管 1 6 の上方に設けられる天井ヒータ 3 1 を用いて説明する。

30

【 0 0 2 8 】

図 4 に示すように、天井ヒータ 3 1 は、反応管 1 6 上方に略水平に設けられる。天井ヒータ 3 1 は、加熱装置 1 2 の上壁部 3 3 に設けられた支持部 1 0 1 により吊り下げられた状態で固定される。天井ヒータ 3 1 の略中央部には、加熱装置 1 2 の上壁部 3 3 に設けられた給電部 1 0 3 が接続される。天井ヒータ 3 1 の外径は基板 1 8 の外径以上に形成されている。

【 0 0 2 9 】

図 5 に示すように、天井ヒータ 3 1 は、電気絶縁性を有する円板状の基材 9 8 と、電熱素線である発熱体 1 0 0 と、電気絶縁性を有する蓋部材 1 0 2 を備える。発熱体 1 0 0 は、基材 9 8 に形成された溝 9 8 a 内に收容される。基材 9 8 は、発熱体 1 0 0 の下方に開口を有せず、発熱体 1 0 0 の底面全体を実質的に支え、平坦に保つことができる。このような構成により、発熱体 1 0 0 の熱膨張に伴う溝 9 8 a 内での移動を許容しつつ、発熱体 1 0 0 が塑性変形を起こした場合であっても、発熱体 1 0 0 が下方へ垂れ、反応管 1 6 と接触してしまうのを防止することができる。

40

【 0 0 3 0 】

図 6 に示すように、発熱体 1 0 0 は、中心から外方に向けて複数の扇形状に分割した領域内において蛇行し、各円弧が同心円状に形成されるように構成されている。天井ヒータ 3 1 の中心に位置する発熱体 1 0 0 の端部 1 0 4 は給電線を接続する給電端部であり、それぞれ給電部 1 0 3 に接続される。

50

## 【 0 0 3 1 】

発熱体 1 0 0 は、基材 9 8 の中央を中心とする仮想円を扇形状に分割した複数の領域に亘って連続して基材 9 8 上に敷き詰められる。具体的には、発熱体 1 0 0 は、基材 9 8 の中央を中心とする仮想円である円 A を扇形状に 8 分割した領域 A 1 ~ A 8 内において蛇行するように連続して基材 9 8 上に敷き詰められるよう構成されている。領域 A 1 ~ A 8 は、円 A を扇形状に 8 つに等分割することにより形成される。発熱体 1 0 0 は、それぞれの領域 A 1 ~ A 8 内において円周方向に延び、各領域の円周方向の端部で折り返して蛇行するように形成される。領域 A 1 ~ A 2、領域 A 3 ~ A 4、領域 A 5 ~ A 6 および領域 A 7 ~ A 8 における蛇行のパターンは、端部 1 0 4 を除いて一致し、仮想円である円 A の中心の周りで 4 回回転対称である。すなわち、発熱体 1 0 0 は、回転対称性を有する。

10

## 【 0 0 3 2 】

具体的には、発熱体 1 0 0 は、端部 1 0 4 の一方を始点として、半円を描いた後に径方向外向きに折り返し、折り返し前の半円よりも径を大きくした半円を描いて領域 A 1 の円周方向端部で径方向外向きに再び折り返す。そして、折り返し前の半円よりも径を大きくした中心角が 4 5 度以内の円弧を描いて領域 A 1 の円周方向端部で径方向外向きに再び折り返し、折り返し前の円弧よりも径を大きくした中心角が 4 5 度以内の円弧を描いて領域 A 1 の円周方向端部で径方向外向きに再び折り返すことを繰り返しながら領域 A 1 内において径方向外向きに蛇行しつつ同心円状に形成される。

## 【 0 0 3 3 】

そして、発熱体 1 0 0 は、円 A の円周側であって最外周の円弧に差し掛かるように折り返されると、折り返し前の円弧よりも径を大きくした中心角が 4 5 度より大きく中心角が 9 0 度以内の円弧を描いて、領域 A 2 の、領域 A 1 とは反対側の円周方向端部で、径方向内向きに折り返す。そして、折り返し前の円弧よりも径を小さくした中心角が 4 5 度以内の円弧を描いて領域 A 2 の円周方向端部で径方向内向きに再び折り返すことを繰り返しながら領域 A 2 内において径方向内向きに蛇行しつつ同心円状に形成される。

20

## 【 0 0 3 4 】

そして、発熱体 1 0 0 は、円 A の中心側の円弧に差し掛かるように折り返されると、折り返し前の円弧よりも径を小さくした中心角が 4 5 度より大きく中心角が 9 0 度以内の円弧を描いて、領域 A 3 の、領域 A 2 とは反対側の円周方向端部で径方向外向きに折り返し、折り返し前の円弧よりも径を大きくした中心角が 4 5 度以内の円弧を描いて領域 A 3 の円周方向端部で再び折り返すことを繰り返しながら領域 A 3 内において径方向外向きに蛇行しつつ同心円状に形成される。

30

## 【 0 0 3 5 】

そして、発熱体 1 0 0 は、領域 A 3 における円 A の円周側であって最外周の円弧に差し掛かるように折り返されると、領域 A 2 における発熱体 1 0 0 と同様に領域 A 4 内において径方向内向きに領域 A 4 の円周方向端部で折り返すことを繰り返しながら領域 A 4 内において径方向内向きに蛇行しつつ同心円状に形成される。

## 【 0 0 3 6 】

そして、発熱体 1 0 0 は、領域 A 4 における円 A の中心側の円弧に差し掛かるように折り返されると、領域 A 3 における発熱体 1 0 0 と同様に領域 A 5 内において径方向外向きに領域 A 5 の円周方向端部で折り返すことを繰り返しながら領域 A 5 内において径方向外向きに蛇行しつつ同心円状に形成される。

40

## 【 0 0 3 7 】

そして、発熱体 1 0 0 は、領域 A 5 における円 A の円周側であって最外周の円弧に差し掛かるように折り返されると、領域 A 2 における発熱体 1 0 0 と同様に領域 A 6 内において径方向内向きに領域 A 6 の円周方向端部で折り返すことを繰り返しながら領域 A 6 内において径方向内向きに蛇行しつつ同心円状に形成される。

## 【 0 0 3 8 】

そして、発熱体 1 0 0 は、領域 A 6 における円 A の中心側の円弧に差し掛かるように折り返されると、領域 A 3 における発熱体 1 0 0 と同様に領域 A 7 内において径方向外向き

50

に領域 A 7 の円周方向端部で折り返すことを繰り返しながら領域 A 7 内において径方向外向きに蛇行しつつ同心円状に形成される。

【 0 0 3 9 】

そして、発熱体 1 0 0 は、領域 A 7 における円 A の円周側であって最外周の円弧に差し掛かるように折り返されると、領域 A 2 における発熱体 1 0 0 と同様に領域 A 8 内において径方向内向きに領域 A 8 の円周方向端部で折り返すことを繰り返しながら領域 A 8 内において径方向内向きに蛇行しつつ同心円状に形成され、中心側の円弧まで内向きに折り返された後は、外側の円と平行に領域 A 6 の領域 5 側の円周方向端部まで同心円状の半円を描いた後に再び内径方向に折り返して、外側の円よりも径を小さくした半円を領域 A 8 の領域 A 1 側の円周方向端部まで同心円状の半円を描いて端部 1 0 4 の他方の終点となる。

10

【 0 0 4 0 】

このように、発熱体 1 0 0 は 2 つの端部 1 0 4 の間を一筆書きで結ぶように形成される。発熱体 1 0 0 は一般的に、電流密度が一樣になるよう、一定の断面積を有しうる。発熱体 1 0 0 が板状の材料から形成された場合、実質的に一定の幅を有しうる。ただし電流密度又は上昇温度の均一性を改善するため或いは寿命を延ばすために、折り返し部 1 0 0 a 等における断面積を増減させても良い。本実施形態における発熱体 1 0 0 は、同一円周上に折り返し箇所である折り返し部 1 0 0 a が複数か所、有するように構成されている。また、各領域内の発熱体 1 0 0 のそれぞれの折り返し部 1 0 0 a の折り返し位置が径方向で一致し、周方向で隣り合うように構成されている。

【 0 0 4 1 】

20

また、発熱体 1 0 0 が円弧状に連続して形成される区間の中心角の最大角度は、90 度以下となるよう構成されている。また、各領域 A 1 ~ A 8 内において敷き詰められるそれぞれの発熱体 1 0 0 は、隣接する領域の発熱体 1 0 0 と、円 A の円周側又は中心側の、所定の箇所とで接続されるよう構成されている。また、発熱体 1 0 0 は、隣接する領域の発熱体 1 0 0 と、所定の間隔で隔てられている。

【 0 0 4 2 】

このように、発熱体 1 0 0 は、扇形状の領域 A 1 ~ A 8 内でそれぞれ円周方向に延び、それぞれの領域 A 1 ~ A 8 内の円周方向端部で径方向外向き又は内向きに折り返すことを繰り返して蛇行するようにしながら、それぞれの円弧が同心円状に形成されるように構成されている。このように、複数の扇形状の領域内で折り返すように構成することにより、折り返し部 1 0 0 a の内側と外側で発熱体の熱膨張による変位の量や向きが近くなり、発熱体 1 0 0 の変形が抑えられる。

30

【 0 0 4 3 】

このようなパターンの形成された発熱体 1 0 0 において、熱膨張や塑性変形による伸長が最も大きいのは、各領域間を円 A の円周上で接続され、円 A の各領域での円弧の長さの約 2 倍の長さを有する最外周側の円弧である。最外周円弧は、各領域内で円 A の円周上に配置された場合の円弧の伸長量の約 2 倍以上の伸長量が許容されるべきである。また、発熱体 1 0 0 のその他の箇所における伸長許容量は、一つ外側の円弧の区間における伸長許容量よりも小さいか等しくなるように設定される。このように設定された発熱体 1 0 0 は、伸長によって溝 9 8 a の中を移動する。特に最外周円弧の伸長に伴って、最外周円弧により接続される 2 つの領域の発熱体 1 0 0 が互いに離れる方向に移動しうるが、この移動は当該 2 つの領域内で収束し、他の領域には波及しない。つまりそれぞれの最外周円弧の伸長は局所的にのみ影響し、またそれらは円 A の中心を基準にして対称であるので、発熱体 1 0 0 全体の変位や変形が抑えられる。

40

【 0 0 4 4 】

図 7 に示すように、基材 9 8 は、発熱体 1 0 0 の形状に対応する溝 9 8 a を有し、溝 9 8 a が設けられている箇所以外の箇所により壁 9 8 b が形成されている。また、基材 9 8 の溝 9 8 a が形成されている面の裏面（下面）であって、反応管 1 6 が設置される側の面は、平板状に形成されている。また、基材 9 8 は、内部が透明または不透明であって、例えば合成石英、アルミナ等により構成され、溝 9 8 a の内側表面が粗面化されている。

50

## 【 0 0 4 5 】

図 8 に示すように、蓋部材 1 0 2 は、中心から放射状に延びる 8 本の腕部 1 0 2 a を有する。蓋部材 1 0 2 は、例えば合成石英により構成される。

## 【 0 0 4 6 】

そして、図 9 に示すように、基材 9 8 の溝 9 8 a 内に発熱体 1 0 0 が収容されて敷き詰められ、その上に蓋部材 1 0 2 が装着される。つまり発熱体 1 0 0 は、溝 9 8 a の底に単に置かれている。そして、基材 9 8 と蓋部材 1 0 2 とが、発熱体 1 0 0 の外周側でビス止めされて固定される。このとき、それぞれの腕部 1 0 2 a は、隣り合う領域の発熱体 1 0 0 の間であって、折り返し部 1 0 0 a の間の、隣り合う領域の境界に沿って配置される。すなわち、隣り合う領域の折り返し部 1 0 0 a が、基材 9 8 と蓋部材 1 0 2 (腕部 1 0 2 a) との間に挟まれて保持される。つまり、基材 9 8 と発熱体 1 0 0 の上方は少なくとも一部が開放される。これにより、折り返し部 1 0 0 a が溝 9 8 a から飛び出して、隣り合う領域の発熱体 1 0 0 に接触することを防ぐことができる蓋部材 1 0 2 を軽量に構成することができる。

10

## 【 0 0 4 7 】

ここで、図 1 0 に示すように、隣り合う領域の折り返し部 1 0 0 a の間隔 D 1 は、2 つの領域間を隔てている壁 9 8 b の幅 D 2 よりも広くなるよう構成されている。すなわち、 $D 1 > D 2$  となるように設定されている。また、各領域間を隔てる壁 9 8 b と最も円周側の発熱体 1 0 0 の折り返し部 1 0 0 a との間の距離 D 3 は、最も円周側の発熱体 1 0 0 の塑性変形による伸長量よりも長くなるよう構成されている。この伸長量は想定する耐用年数における通常の使用で生じるものとして、経験的に得られる。また、各領域内で円周方向に延びるように敷き詰められる発熱体 1 0 0 の側部と壁 9 8 b との間の距離は、非加熱状態において、円 A の中心側の発熱体 1 0 0 の側部と壁 9 8 b との間の距離 D 4 よりも、円 A の円周側の発熱体 1 0 0 の側部と壁 9 8 b との間の距離 D 5 の方が長くなるよう構成されている。すなわち、 $D 4 < D 5$  となるように設定されている。これにより、昇温と降温との繰り返しにより、発熱体が伸長しても、基材 9 8 を構成する壁 9 8 b に当たらない程度の空間が確保される。

20

## 【 0 0 4 8 】

ここで、ポート 2 0 の上部に載置された基板 1 8 は側部ヒータ 3 0 のみで加熱される場合 (天井ヒータ 3 1 O F F の場合)、基板 1 8 の周辺部が積極的に加熱され、また、基板 1 8 の中央部の熱逃げの影響により、特に、中央部における加熱が不足する。これにより、面内温度分布にばらつきが生じてしまい、面内温度均一性が悪化することがあった。すなわち、側部ヒータ 3 0 のみで基板 1 8 を加熱した場合、ポート 2 0 上部に載置された基板 1 8 の面内温度分布は中央部の温度が低い凹分布となることがあった。

30

## 【 0 0 4 9 】

また、発熱体の材料として鉄系合金が用いられうるが、このような発熱体は、昇温と降温の繰り返しにより発熱体が塑性変形 (伸長) される。この塑性変形は、降温過程で発熱体の断面の少なくとも一部で引張応力を受けながらアニールされることに起因していると考えられ、伸長量は昇温と降温を繰り返す回数に応じて蓄積していく。なお繰り返す回数が少ない間は、伸長しない或いは逆に収縮することもある。伸長は外力が無くとも起こりえるため、完全に抑制することが難しい。このため、基材に収容できる限界まで伸長した発熱体は、基材上に部分的に拘束された状態で熱膨張すると、発熱体の拘束されていない部分が基材から飛び出すような座屈が発生してしまうことがあった。この座屈も塑性変形であり、伸長の進展とともに悪化していく。すなわち、天井ヒータの耐久性を向上させることが課題であった。

40

## 【 0 0 5 0 】

本開示によれば、複数の扇形状の領域内においてそれぞれ円周方向端部で折り返すように形成し、同一円周上の円弧の長さを短くした。これにより、1 つの円弧当たりの伸長量が小さくなり、発熱体の変形が抑制され、発熱体が基材に形成された溝から飛び出すことを抑制することができる。

50

## 【 0 0 5 1 】

また、反応管 1 6 の上方に天井ヒータ 3 1 を設けることにより、反応管 1 6 の上方における温度の安定化を図ることができ、成膜膜厚の均一性を向上させることができる。

## 【 0 0 5 2 】

すなわち、発熱体の塑性変形による浮き上がり等の好ましくない変形を防止して、発熱体の接触、短絡や断線を抑制し、天井ヒータ 3 1 の長寿命化を実現することができる。

## 【 0 0 5 3 】

## ( 4 ) 変形例

上述の実施形態における天井ヒータ 3 1 は、以下に示す変形例のように変形することができる。特に説明がない限り、変形例における構成は、上述した実施形態における構成と同様であり、説明を省略する。

## 【 0 0 5 4 】

## ( 変形例 )

上述した天井ヒータ 3 1 の変形例を、図 1 1 を用いて説明する。

変形例における天井ヒータ 1 1 0 は、上述した天井ヒータ 3 1 と、発熱体と、発熱体を収容する基材の形状が異なる。図 1 1 においては、発熱体と基材の形状を分かり易くするため、蓋部材 1 0 2 を破線で示している。

## 【 0 0 5 5 】

天井ヒータ 1 1 0 では、発熱体 1 0 0 を 2 分割にするよう構成される。すなわち、発熱体 1 0 0 として第 1 発熱体 1 0 0 - 1 と第 2 発熱体 1 0 0 - 2 の 2 つの発熱体を用いる。基材 1 1 2 は、第 1 発熱体 1 0 0 - 1 と第 2 発熱体 1 0 0 - 2 の形状に対応する溝 1 1 2 a を有し、溝 1 1 2 a が設けられている箇所以外の箇所により壁 1 1 2 b が形成されている。第 1 発熱体 1 0 0 - 1 と第 2 発熱体 1 0 0 - 2 は、溝 1 1 2 a 内にそれぞれ収容されるように構成されている。第 1 発熱体 1 0 0 - 1 と第 2 発熱体 1 0 0 - 2 は、扇形状の領域 A 1 ~ A 8 内において円周方向に延び、各領域の円周方向端部で折り返して蛇行するように敷き詰められるように形成されている。

## 【 0 0 5 6 】

第 1 発熱体 1 0 0 - 1 は、基材 1 1 2 中央の中心を端部 1 0 4 の始点として、上述した天井ヒータ 3 1 と同様に、領域 A 1 ~ A 8 内において、円周方向に延び、各領域の円周方向端部で折り返すことを繰り返しながら、各領域内の基材 1 1 2 の半径の半分程度まで敷き詰められて、基材 1 1 2 中央の中心に他方の端部 1 0 4 の終点を配置する。

## 【 0 0 5 7 】

第 2 発熱体 1 0 0 - 2 は、第 1 発熱体 1 0 0 - 1 の外周側のいずれかの領域内を端部 1 0 4 a の始点として、領域 A 1 ~ A 8 内において、円周方向に延び、各領域の円周方向端部で折り返すことを繰り返しながら、各領域内の基材の外周側まで敷き詰められて、端部 1 0 4 a と対向する位置に、他方の端部 1 0 4 a の終点を配置する。この時、2 つの端部 1 0 4 a は、壁 1 1 2 b に仕切られ、2 つの端部 1 0 4 a は、折り返し部 1 0 0 a と隣り合わない位置であり、第 2 発熱体 1 0 0 - 2 における内周側に配置される。

## 【 0 0 5 8 】

この時、第 2 の温度センサ 2 8 は、第 1 発熱体 1 0 0 - 1 と第 2 発熱体 1 0 0 - 2 の両方の温度を測定できるように構成されている。温度センサ 2 8 は第 1 発熱体 1 0 0 - 1 の温度と第 2 発熱体 1 0 0 - 2 の温度とを独立に測定し、ヒータ駆動装置 7 6 - 5 は第 1 発熱体 1 0 0 - 1 および第 2 発熱体 1 0 0 - 2 を独立して制御できるように構成されている。

## 【 0 0 5 9 】

このような構成により、上述した実施形態における天井ヒータ 3 1 による効果に加えて、第 1 発熱体 1 0 0 - 1 と第 2 発熱体 1 0 0 - 2 とで印加電力を異ならせることができるため、第 1 発熱体 1 0 0 - 1 と第 2 発熱体 1 0 0 - 2 の発熱量を異ならせることができる。これにより、天井ヒータの温度分布を凸状分布としたり凹状分布としたりすることができる。例えば、第 2 発熱体 1 0 0 - 2 に印加する電力量を少なくとも第 1 発熱体 1 0 0 - 1 に印加する電力量よりも大きくすることで、天井ヒータの温度分布を凹状分布とするこ

10

20

30

40

50

とができる。

【 0 0 6 0 】

また、第 1 発熱体 1 0 0 - 1 と第 2 発熱体 1 0 0 - 2 とで印加電力を異ならせることができるため、温度昇温時の天井ヒータの温度分布を凸状分布とすることができる。これにより、基板の昇温段階から天井ヒータを ON とすることで、より上部の基板の温度制御性を向上させることができ、上部の基板の面間温度均一性を向上させることができる。これにより、基板の温度安定時間を短縮させることができ、生産性を向上させることができる。

【 0 0 6 1 】

以上、本開示の実施形態及び変形例を具体的に説明した。しかしながら、本開示は上述の実施形態及び変形例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

10

【 0 0 6 2 】

例えば、上述の実施形態及び変形例では、1 つ又は 2 つの発熱体を用いる場合を例にして説明したが、これに限らず 3 つ以上の発熱体を用いる場合にも、好適に適用できる。

【 0 0 6 3 】

また、上述の実施形態及び変形例では、発熱体 1 0 0 が、8 つの扇形状に分割した各領域内において蛇行するようにして敷き詰められる場合について説明したが、これに限定されるものではなく、複数の扇形状に分割した各領域内において蛇行するようにすればよく、8 以上の扇形状に分割した各領域内において蛇行するようにして敷き詰められる場合にも、好適に適用できる。

20

【 0 0 6 4 】

また、上述の実施形態では、基板 1 8 上に Si N 膜を形成する工程の一例について説明したが、本開示はこれに限定されず、天井ヒータ 3 1 を用いて膜を形成、改質或いはエッチングする場合に、好適に適用できる。

【 0 0 6 5 】

複数枚の被処理体を一括して処理する縦型の処理装置に適用される。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 6 】

- 1 0 基板処理装置
- 1 8 基板
- 3 0 側部ヒータ
- 3 1 天井ヒータ
- 9 8 基材
- 1 0 0 発熱体
- 1 0 2 蓋部材

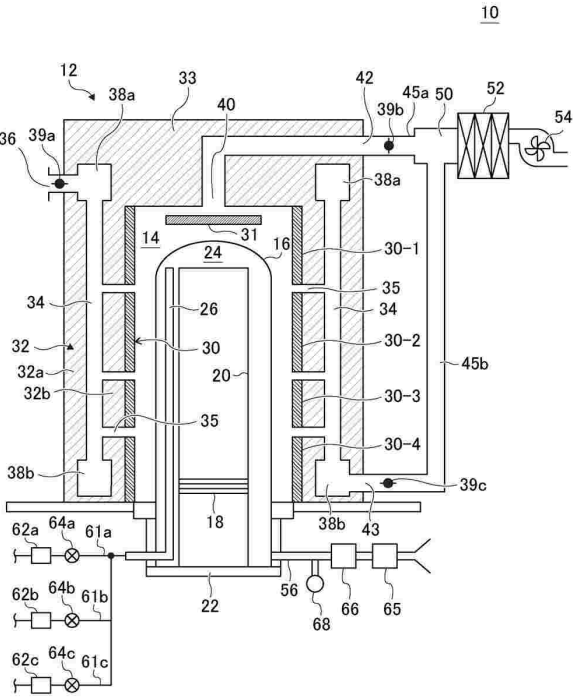
30

40

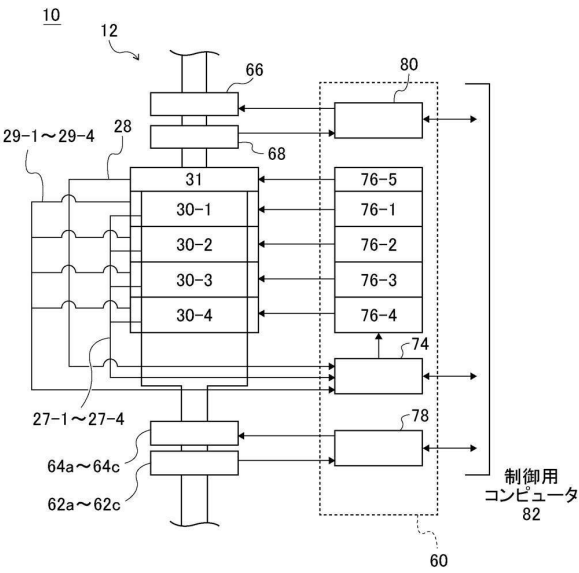
50

【図面】

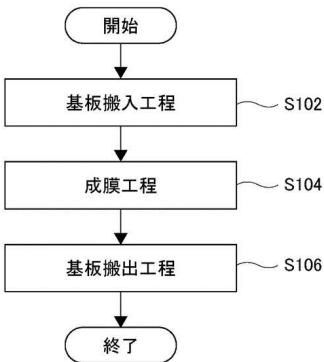
【図 1】



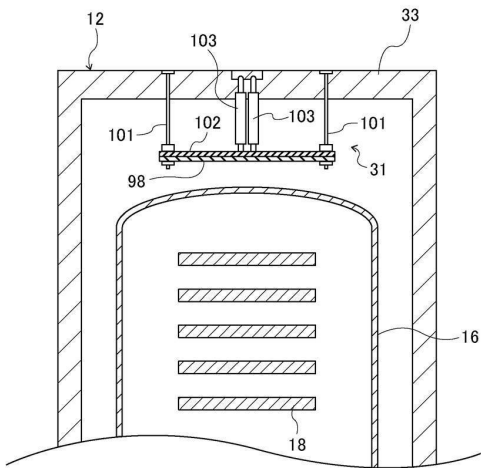
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

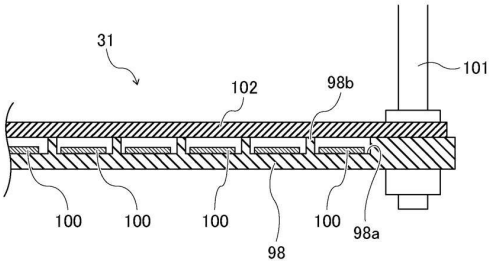
20

30

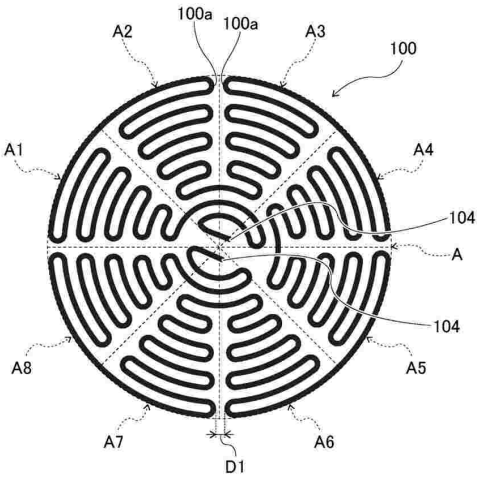
40

50

【 図 5 】

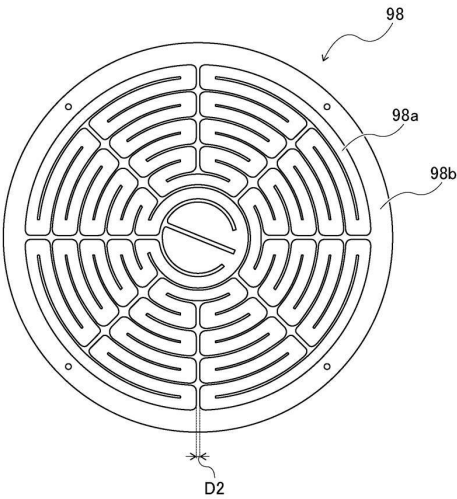


【 図 6 】

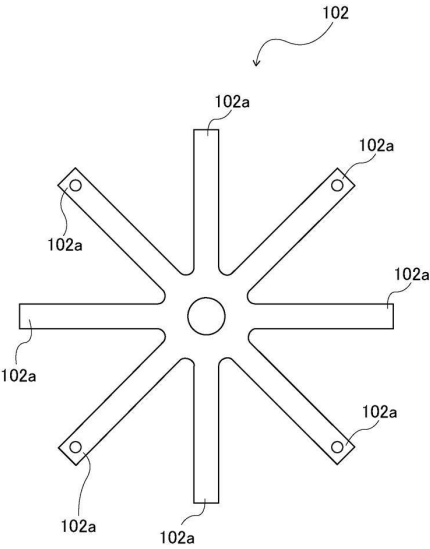


10

【 図 7 】



【 図 8 】



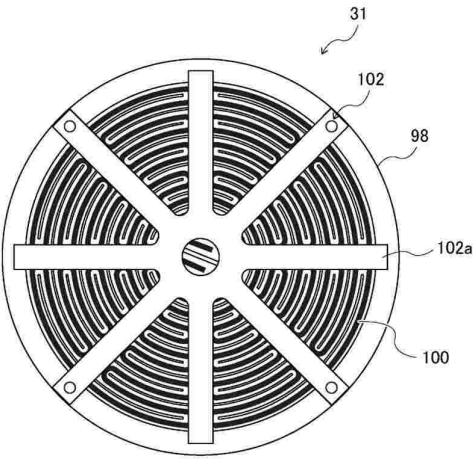
20

30

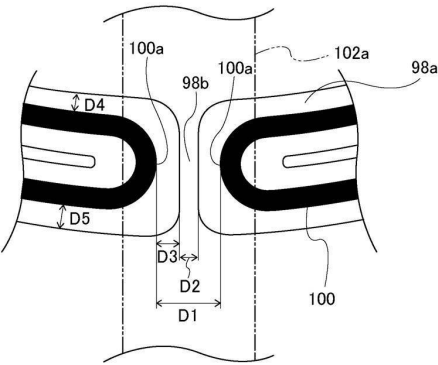
40

50

【図 9】

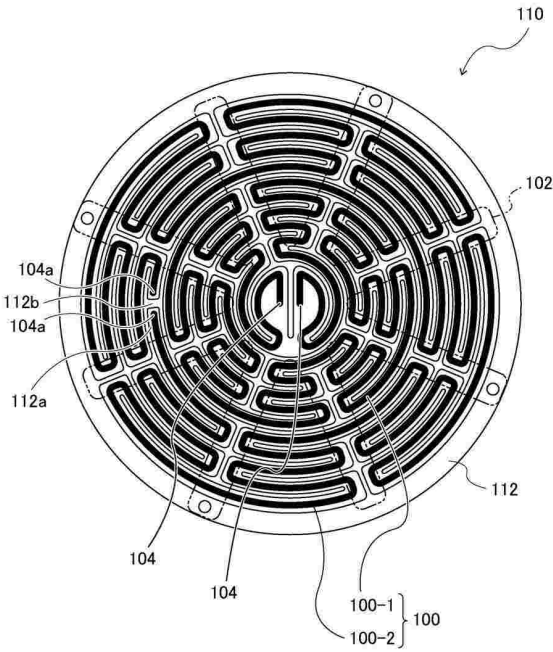


【図 10】



10

【図 11】



20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献      特開 2 0 0 4 - 3 2 7 5 2 8 ( J P , A )  
                    国際公開第 2 0 1 8 / 1 0 0 8 5 0 ( W O , A 1 )  
                    特開 2 0 0 3 - 3 2 4 0 4 5 ( J P , A )  
                    特開 2 0 0 1 - 2 7 4 1 0 3 ( J P , A )  
                    特開 2 0 1 7 - 1 3 5 2 6 0 ( J P , A )  
                    特開 2 0 0 7 - 0 4 3 1 7 0 ( J P , A )
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- H 0 1 L    2 1 / 3 1  
                    H 0 1 L    2 1 / 3 1 8  
                    C 2 3 C    1 6 / 4 6