

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7466406号  
(P7466406)

(45)発行日 令和6年4月12日(2024.4.12)

(24)登録日 令和6年4月4日(2024.4.4)

(51)国際特許分類	F I
H 0 1 L 21/318 (2006.01)	H 0 1 L 21/318 B
H 0 1 L 21/31 (2006.01)	H 0 1 L 21/31 C
H 0 1 L 21/312 (2006.01)	H 0 1 L 21/312 A

請求項の数 6 (全18頁)

(21)出願番号	特願2020-139562(P2020-139562)	(73)特許権者	000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番1号
(22)出願日	令和2年8月20日(2020.8.20)	(74)代理人	110002147 弁理士法人酒井国際特許事務所
(65)公開番号	特開2022-35326(P2022-35326A)	(72)発明者	山口 達也 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京 エレクトロン テクノロジーソリューシ ヨンス株式会社内
(43)公開日	令和4年3月4日(2022.3.4)	審査官	小 高 孔 頌
審査請求日	令和5年4月10日(2023.4.10)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体装置の製造方法および成膜装置

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

容器内に收容された、凹部が形成された基板の温度を、 $220$  [ ] 以上かつ  $250$  [ ] 以下の範囲内の温度に調整する温度調整工程と、

前記容器内にイソシアネートのガスおよびアミンのガスを供給することにより、前記基板の凹部にポリ尿素膜を積層する第1の積層工程と

を含む半導体装置の製造方法。

## 【請求項2】

前記凹部に積層された前記ポリ尿素膜上に封止膜を積層する第2の積層工程と、

前記基板の温度を  $280$  [ ] より高い温度に調整することにより、前記封止膜の下層の前記ポリ尿素膜を解重合させ、前記封止膜の下層の前記ポリ尿素膜を、前記封止膜を介して脱離させることにより、前記封止膜と前記凹部との間にエアギャップを形成する脱離工程と

を含む請求項1に記載の半導体装置の製造方法。

## 【請求項3】

前記第1の積層工程では、

前記イソシアネートのガスおよび前記アミンのガスの分圧は、それぞれ  $0.01$  [ Torr ] 以上かつ  $1$  [ Torr ] 以下の範囲内の圧力に調整される請求項1または2に記載の半導体装置の製造方法。

## 【請求項4】

10

20

凹部が形成された基板が収容される容器と、  
前記容器内にイソシアネートのガスとアミンのガスを供給するガス供給部と、  
前記基板を加熱する加熱部と、  
制御部と  
を備え、  
前記制御部は、  
前記容器内に収容された前記基板の温度を、 $220$  [ ] 以上かつ  $250$  [ ] 以下の  
範囲内の温度に調整するように前記加熱部を制御する温度調整工程と、  
前記容器内に前記イソシアネートのガスおよび前記アミンのガスを供給するように前記  
ガス供給部を制御することにより、前記基板の凹部にポリ尿素膜を積層する積層工程と  
を実行する成膜装置。

10

**【請求項 5】**

前記容器内のガスを排気する排気ダクトと、  
前記基板が晒されている前記容器内の空間である処理空間と、前記排気ダクト内の空間  
である排気空間との間に設けられた排気シールドと  
を備え、  
前記排気シールドは、  
前記排気空間内の圧力を前記処理空間内の圧力よりも低く維持する請求項 4 に記載の成  
膜装置。

**【請求項 6】**

前記処理空間内の圧力は、前記排気シールドによって、前記排気空間内の圧力よりも  $1$   
[ Torr ] 以上高い圧力に維持される請求項 5 に記載の成膜装置。

20

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本開示の種々の側面および実施形態は、半導体装置の製造方法および成膜装置に関する。

**【背景技術】****【0002】**

例えば、下記特許文献 1 には、多層構造の半導体装置において、層間絶縁膜中にエアギャ  
ップを形成することにより、層間絶縁膜の比誘電率を小さくする技術が開示されている  
。この技術では、基板上の凹部に層間絶縁膜を埋め込む際に、凹部内に埋め込み不良とな  
る空間（ポイド）を形成し、形成されたポイドがエアギャップとして利用される。

30

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0003】**

【文献】特開 2012 - 54307 号公報

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

本開示は、幅が広い凹部よりも幅が狭い凹部の方に選択的に成膜することができる半導  
体装置の製造方法および成膜装置を提供する。

40

**【課題を解決するための手段】****【0005】**

本開示の一側面は、半導体装置の製造方法であって、温度調整工程と、第 1 の積層工程  
とを含む。温度調整工程では、容器内に収容された、凹部が形成された基板の温度が、 $200$   
[ ] 以上かつ  $280$  [ ] 以下の範囲内の温度に調整される。第 1 の積層工程では  
、容器内にイソシアネートのガスおよびアミンのガスが供給されることにより、基板の凹  
部にポリ尿素膜が積層される。

**【発明の効果】****【0006】**

50

本開示の種々の側面および実施形態によれば、幅が広い凹部よりも幅が狭い凹部の方に選択的に成膜することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】図1は、本開示の一実施形態における製造システムの一例を示すシステム構成図である。

【図2】図2は、本開示の一実施形態における成膜装置の一例を示す概略図である。

【図3】図3は、本開示の一実施形態におけるプラズマ処理装置の一例を示す概略図である。

【図4】図4は、本開示の一実施形態における加熱装置の一例を示す概略図である。

10

【図5】図5は、半導体装置の製造方法の一例を示すフローチャートである。

【図6】図6は、半導体装置の製造過程の一例を示す模式図である。

【図7】図7は、半導体装置の製造過程の一例を示す模式図である。

【図8】図8は、半導体装置の製造過程の一例を示す模式図である。

【図9】図9は、半導体装置の製造過程の一例を示す模式図である。

【図10】図10は、半導体装置の製造過程の一例を示す模式図である。

【図11】図11は、基板の温度に対するD/R（デポジションレート）および除去率の関係の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

20

以下に、開示される半導体装置の製造方法および成膜装置の実施形態について、図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下の実施形態により、開示される半導体装置の製造方法および成膜装置が限定されるものではない。

【0009】

ところで、埋め込み不良として形成される空隙の形状および大きさは、凹部の幅や深さに依存する。例えば、凹部の幅が狭い場合、凹部の下部に大きな空隙が形成されるが、凹部の幅が広い場合、凹部の下部には空隙がほとんど形成されないことがある。また、凹部に形成される空隙の形状および大きさは、基板上での凹部の位置や半導体製造装置内での凹部の位置によってばらつくことがある。そのため、任意の形状の凹部に対して、所望の形状および大きさの空隙を形成することが難しい。

30

【0010】

そこで、凹部を有する基板上に熱分解可能な有機材料を積層し、凹部の周囲の有機材料を除去し、凹部内の有機材料の上に封止膜を積層した後に、基板を加熱することで、熱分解した有機材料を封止膜を介して凹部から脱離させることが考えられる。これにより、凹部と封止膜との間に有機材料の形状に対応する形状のエアギャップを形成することができる。

【0011】

ここで、基板上において、信号線やグランド線等の配線の間隔が狭い場所では、配線間の寄生容量を下げたためにエアギャップが必要であるが、そのような場所では、エアギャップの幅に対する高さの比が大きくなる。そのため、エアギャップが形成された構造物の機械的な強度はそれほど低くならない。

40

【0012】

その一方で、配線の間隔が広い場所では、エアギャップが形成されると、エアギャップの幅に対する高さの比が小さくなり、配線の間隔が狭い場所に形成されたエアギャップよりも、エアギャップが形成された構造物の機械的な強度が低下する。そもそも、配線の間隔が広い場所では、配線間にエアギャップを設けなくても誘電体膜を介在させる等により配線間の寄生容量を低減することができる場合が多い。このように、凹部の幅によっては、エアギャップが形成されることが好ましくない場合がある。

【0013】

また、半導体装置の加工過程では、配線間隔が広い箇所を加工するために、配線間隔が

50

狭い箇所に保護膜を形成する場合がある。そのような場合、全体的に保護膜が積層され、配線間隔が広い箇所から保護膜を選択的に除去することが考えられる。しかし、配線間隔が広い箇所に成膜される保護膜の量を抑えられれば、保護膜を成膜するための材料ガスの無駄な消費量を抑えることができる。

#### 【0014】

そこで、本開示は、幅が広い凹部よりも幅が狭い凹部の方に選択的に成膜することができる技術を提供する。

#### 【0015】

##### [製造システム10の構成]

図1は、本開示の一実施形態における製造システム10の一例を示すシステム構成図である。製造システム10は、成膜装置200-1、成膜装置200-2、プラズマ処理装置300、および加熱装置400を備える。本実施形態における製造システム10は、マルチチャンバタイプの真空処理システムである。製造システム10は、成膜装置200-1、成膜装置200-2、プラズマ処理装置300、および加熱装置400を用いて、半導体装置に用いられる素子が形成される基板Wにエアギャップを形成する。成膜装置200-1および成膜装置200-2は、同様の構成である。なお、以下では、成膜装置200-1および成膜装置200-2のそれぞれを区別することなく総称する場合に成膜装置200と記載する。

10

#### 【0016】

成膜装置200は、凹部が形成された基板Wを容器内に收容し、当該基板Wを予め定められた温度に加熱した状態で、容器内に材料ガスを供給することにより基板Wの表面に熱分解可能な有機材料を積層させる。本実施形態において、予め定められた温度は、例えば200[ ]以上かつ280[ ]以下の範囲内の温度である。好ましくは、予め定められた温度は、例えば220[ ]以上かつ250[ ]以下の範囲内の温度であってもよい。また、本実施形態において、材料ガスは、例えばイソシアネートのガスおよびアミンのガスである。また、本実施形態において、熱分解可能な有機材料は、イソシアネートおよびアミンの重合により生成されたポリ尿素膜である。

20

#### 【0017】

プラズマ処理装置300は、マイクロ波のプラズマを用いて、基板Wの凹部に成膜された有機材料の上に封止膜を積層させる。加熱装置400は、基板Wを第1の温度よりも高い第2の温度に加熱することにより、封止膜の下層の有機材料を熱分解させ、封止膜の下層の有機材料を、封止膜を介して脱離させる。これにより、封止膜と凹部との間にエアギャップが形成される。

30

#### 【0018】

成膜装置200-1、成膜装置200-2、プラズマ処理装置300、および加熱装置400は、平面形状が七角形をなす真空搬送室101の4つの側壁にそれぞれゲートバルブGを介して接続されている。真空搬送室101の他の3つの側壁には、3つのロードロック室102がゲートバルブG1を介して接続されている。3つのロードロック室102のそれぞれは、ゲートバルブG2を介して大気搬送室103に接続されている。

#### 【0019】

真空搬送室101内は、真空ポンプにより排気されて予め定められた真空度に保たれている。真空搬送室101内には、ロボットアーム等の搬送機構106が設けられている。搬送機構106は、成膜装置200-1、成膜装置200-2、プラズマ処理装置300、加熱装置400、およびそれぞれのロードロック室102の間で基板Wを搬送する。搬送機構106は、独立に移動可能な2つのアーム107aおよび107bを有する。

40

#### 【0020】

大気搬送室103の側面には、基板Wを收容するキャリア(F O U P (Front-Opening Unified Pod)等)Cを取り付けるための複数のポート105が設けられている。また、大気搬送室103の側壁には、基板Wのアライメントを行うためのアライメント室104が設けられている。また、大気搬送室103内には清浄空気のダウンフローが形成される。

50

## 【 0 0 2 1 】

大気搬送室 1 0 3 内には、ロボットアーム等の搬送機構 1 0 8 が設けられている。搬送機構 1 0 8 は、それぞれのキャリア C、それぞれのロードロック室 1 0 2、およびアライメント室 1 0 4 の間で基板 W を搬送する。

## 【 0 0 2 2 】

制御装置 1 0 0 は、メモリ、プロセッサ、および入出力インターフェイスを有する。メモリには、プロセッサによって実行されるプログラム、および、各処理の条件を含むレシピ等が格納されている。プロセッサは、メモリから読み出したプログラムを実行し、メモリ内に記憶されたレシピに基づいて、入出力インターフェイスを介して、製造システム 1 0 の各部を制御する。

10

## 【 0 0 2 3 】

## [ 成膜装置 2 0 0 の構成 ]

図 2 は、本開示の一実施形態における成膜装置 2 0 0 の一例を示す概略図である。成膜装置 2 0 0 は、容器 2 0 9 を有する。容器 2 0 9 は、下部容器 2 0 1、排気ダクト 2 0 2、支持構造体 2 1 0、およびシャワーヘッド 2 3 0 を有する。

## 【 0 0 2 4 】

下部容器 2 0 1 は、アルミニウム等の金属により形成されている。排気ダクト 2 0 2 は、下部容器 2 0 1 の上部の周縁に設けられている。また、排気ダクト 2 0 2 の上には、環状の絶縁部材 2 0 4 が配置されている。シャワーヘッド 2 3 0 は、下部容器 2 0 1 の上方に設けられており、絶縁部材 2 0 4 に支持されている。下部容器 2 0 1 の略中央には、基板 W を載置する支持構造体 2 1 0 が設けられている。以下では、下部容器 2 0 1、排気ダクト 2 0 2、支持構造体 2 1 0、およびシャワーヘッド 2 3 0 で囲まれた容器 2 0 9 内の空間を処理空間  $S_P$  と定義する。

20

## 【 0 0 2 5 】

下部容器 2 0 1 の側壁には、基板 W の搬入および搬出を行うための開口部 2 0 5 が形成されている。開口部 2 0 5 は、ゲートバルブ G によって開閉される。排気ダクト 2 0 2 は、縦断面が中空の角型形状であり、下部容器 2 0 1 の上部の周縁に沿って円環状に延在している。排気ダクト 2 0 2 内の空間を排気空間  $S_E$  と定義する。排気ダクト 2 0 2 には、排気ダクト 2 0 2 の延在方向に沿ってスリット状の排気口 2 0 3 が形成されている。排気口 2 0 3 は、支持構造体 2 1 0 に載置された基板 W の周縁に沿って、基板 W の領域の外側に配置され、処理空間  $S_P$  内のガスを排気する。

30

## 【 0 0 2 6 】

排気ダクト 2 0 2 において、排気口 2 0 3 が形成された処理空間  $S_P$  側の側壁は、排気シールドの一例である。本実施形態において、排気空間  $S_E$  内の圧力は、排気シールドによって処理空間  $S_P$  内の圧力よりも低く維持される。本実施形態において、処理空間  $S_P$  内の圧力は、排気シールドによって、排気空間  $S_E$  内の圧力よりも 1 [ Torr ] 以上高い圧力に維持される。例えば、処理空間  $S_P$  内の圧力は、例えば 1 [ Torr ] 以上の圧力に維持され、排気空間  $S_E$  内の圧力は、例えば 0 . 1 [ Torr ] 以下の圧力に維持される。

## 【 0 0 2 7 】

排気ダクト 2 0 2 には、排気管 2 0 6 の一端が接続されている。排気管 2 0 6 の他端は、A P C ( Auto Pressure Controller ) バルブ等の圧力調整バルブ 2 0 7 を介して真空ポンプ等を有する排気装置 2 0 8 に接続されている。圧力調整バルブ 2 0 7 は、制御装置 1 0 0 によって制御され、処理空間  $S_P$  内の圧力を予め設定された圧力に制御する。

40

## 【 0 0 2 8 】

排気ダクト 2 0 2 の側面およびシャワーヘッド 2 3 0 の上面には、ヒータ 2 5 0 a が設けられており、下部容器 2 0 1 の上部には、ヒータ 2 5 0 b が埋め込まれている。ヒータ 2 5 0 a は、排気ダクト 2 0 2 およびシャワーヘッド 2 3 0 を例えば 2 0 0 [ ] に加熱する。また、ヒータ 2 5 0 b は、下部容器 2 0 1 の上面を例えば 2 0 0 [ ] に加熱する。これにより、シャワーヘッド 2 3 0、排気ダクト 2 0 2、および下部容器 2 0 1 への反応副生成物（いわゆるデポ）の付着を抑制することができる。なお、排気管 2 0 6、圧力

50

調整バルブ 207、および排気装置 208 においても、デポの付着を抑制するために、図示しないヒータにより、例えば 150 [ ] に加熱されている。

【0029】

支持構造体 210 は、ステージ 211 および支持部 212 を有する。ステージ 211 は、例えばアルミニウム等の金属により構成され、上面に基板 W が載置される。支持部 212 は、例えばアルミニウム等の金属により筒状に構成され、ステージ 211 を下方から支持する。

【0030】

ステージ 211 には、ステージヒータ 214 が埋め込まれている。ステージヒータ 214 は、供給された電力に応じてステージ 211 上に載置された基板 W を加熱する。ステージヒータ 214 に供給される電力は、制御装置 100 によって制御される。ステージヒータ 214 は、加熱部の一例である。

10

【0031】

また、ステージ 211 内には、冷媒が流通する流路 215 が形成されている。流路 215 には、配管 216a および配管 216b を介して、図示しないチラーユニットが接続されている。チラーユニットによって予め定められた温度に調整された冷媒が配管 216a を介して流路 215 に供給され、流路 215 内を循環した冷媒が、配管 216b を介してチラーユニットに戻される。流路 215 内を循環する冷媒によりステージ 211 が冷却される。チラーユニットは、制御装置 100 によって制御される。

【0032】

20

支持部 212 は、下部容器 201 の底部に形成された開口部を貫通するように下部容器 201 内に配置されている。支持部 212 は、昇降機構 240 の駆動により上下に昇降する。基板 W が搬入される際には、ゲートバルブ G が開けられ、昇降機構 240 の駆動により支持構造体 210 が下降し、開口部 205 を介して基板 W がステージ 211 上に載置される。そして、ゲートバルブ G が閉じられ、昇降機構 240 の駆動により支持構造体 210 が上昇し、基板 W への成膜処理が実行される。また、基板 W が搬出される際には、昇降機構 240 の駆動により支持構造体 210 が下降し、ゲートバルブ G が開けられ、開口部 205 を介してステージ 211 上から基板 W が搬出される。

【0033】

シャワーヘッド 230 は、拡散室 231a および拡散室 231b を有する。拡散室 231a および拡散室 231b は互いに連通していない。拡散室 231a および拡散室 231b には、ガス供給部 220 が接続されている。具体的には、拡散室 231a には、配管 225a を介して、バルブ 224a、MFC (Mass Flow Controller) 223a、気化器 222a、および原料供給源 221a が接続されている。原料供給源 221a は、例えばイソシアネートの供給源である。気化器 222a は、原料供給源 221a から供給されたイソシアネートの液体を気化させる。MFC 223a は、気化器 222a によって気化されたイソシアネートの蒸気の流量を制御する。バルブ 224a は、イソシアネートの蒸気の配管 225a への供給および供給停止を制御する。

30

【0034】

拡散室 231b には、配管 225b を介して、バルブ 224b、MFC 223b、気化器 222b、および原料供給源 221b が接続されている。原料供給源 221b は、例えばアミンの供給源である。気化器 222b は、原料供給源 221b から供給されたアミンの液体を気化させる。MFC 223b は、気化器 222b によって気化されたアミンの蒸気の流量を制御する。バルブ 224b は、アミンの蒸気の配管 225b への供給および供給停止を制御する。

40

【0035】

拡散室 231a は、複数の吐出口 232a を介して処理空間  $S_p$  と連通しており、拡散室 231b は、複数の吐出口 232b を介して処理空間  $S_p$  と連通している。配管 225a を介して拡散室 231a 内に供給されたイソシアネートの蒸気は、拡散室 231a 内を拡散し、吐出口 232a を介して処理空間  $S_p$  内にシャワー上に吐出される。配管 225b を介

50

して拡散室 231b 内に供給されたアミンの蒸気は、拡散室 231b 内を拡散し、吐出口 232b を介して処理空間  $S_p$  内にシャワー上に吐出されるイソシアネートおよびアミンの蒸気は、吐出口 232a および吐出口 232b を介して処理空間  $S_p$  内に吐出された後、処理空間  $S_p$  内において混合され、ステージ 211 に載置された基板 W の表面にポリ尿素膜を形成する。

#### 【0036】

#### [ プラズマ処理装置 300 ]

図 3 は、本開示の一実施形態におけるプラズマ処理装置 300 の一例を示す概略図である。プラズマ処理装置 300 は、処理容器 301 およびマイクロ波出力装置 304 を備える。

10

#### 【0037】

処理容器 301 は、例えば表面が陽極酸化処理されたアルミニウム等によって略円筒状に形成されており、内部に略円筒形状の処理空間 S を提供している。処理容器 301 は、保安接地されている。また、処理容器 301 は、側壁 301a および底部 301b を有する。側壁 301a の中心軸を、軸線 Z と定義する。底部 301b は、側壁 301a の下端側に設けられている。底部 301b には、排気用の排気口 301h が設けられている。また、側壁 301a の上端部は開口している。

#### 【0038】

側壁 301a の上端部には誘電体窓 307 が設けられており、側壁 301a の上端部の開口は、誘電体窓 307 によって上方から塞がれている。誘電体窓 307 の下面は、処理空間 S に面している。誘電体窓 307 と側壁 301a の上端部との間にはリング 306 が配置されている。

20

#### 【0039】

処理容器 301 内には、ステージ 302 が設けられている。ステージ 302 は、軸線 Z の方向において誘電体窓 307 と対向するように設けられている。ステージ 302 と誘電体窓 307 の間の空間が処理空間 S である。ステージ 302 の上には、基板 W が載置される。

#### 【0040】

ステージ 302 は、基台 302a および静電チャック 302c を有する。基台 302a は、例えばアルミニウム等の導電性の材料により略円盤状に形成されている。基台 302a は、基台 302a の中心軸が軸線 Z に略一致するように処理容器 301 内に配置されている。

30

#### 【0041】

基台 302a は、導電性の材料により形成され、軸線 Z に沿う方向に延伸する筒状支持部 320 によって支持されている。筒状支持部 320 の外周には、導電性の筒状支持部 321 が設けられている。筒状支持部 321 は、筒状支持部 320 の外周に沿って処理容器 301 の底部 301b から誘電体窓 307 へ向かって延びている。筒状支持部 321 と側壁 301a との間には、環状の排気路 322 が形成されている。

#### 【0042】

排気路 322 の上部には、厚さ方向に複数の貫通穴が形成された環状のバッフル板 323 が設けられている。バッフル板 323 の下方には上述した排気口 301h が設けられている。排気口 301h には、排気管 330 を介して、ターボ分子ポンプ等の真空ポンプや自動圧力制御弁等を有する排気装置 331 が接続されている。排気装置 331 により、処理空間 S を予め定められた真空度まで減圧することができる。

40

#### 【0043】

基台 302a は、高周波電極としても機能する。基台 302a には、給電棒 342 およびマッチングユニット 341 を介して、RF バイアス用の RF 信号を出力する RF 電源 340 が電氣的に接続されている。RF 電源 340 は、基板 W に引き込まれるイオンのエネルギーを制御するのに適した予め定められた周波数（例えば、13.56 [MHz]）のバイアス電力をマッチングユニット 341 および給電棒 342 を介して基台 302a に供

50

給する。

【 0 0 4 4 】

マッチングユニット 3 4 1 は、R F 電源 3 4 0 側のインピーダンスと、主に電極、プラズマ、処理容器 3 0 1 といった負荷側のインピーダンスとの間で整合をとるための整合器を収容している。整合器の中には自己バイアス生成用のブロッキングコンデンサが含まれている。

【 0 0 4 5 】

基台 3 0 2 a の上面には、静電チャック 3 0 2 c が設けられている。静電チャック 3 0 2 c は、基板 W を静電気力によって吸着保持する。静電チャック 3 0 2 c は、略円盤状の外形を有し、ヒータ 3 0 2 d が埋め込まれている。ヒータ 3 0 2 d には、配線 3 5 2 およびスイッチ 3 5 1 を介してヒータ電源 3 5 0 が電氣的に接続されている。ヒータ 3 0 2 d は、ヒータ電源 3 5 0 から供給される電力によって、静電チャック 3 0 2 c 上に載置された基板 W を加熱する。基台 3 0 2 a 上には、エッジリング 3 0 2 b が設けられている。エッジリング 3 0 2 b は、基板 W および静電チャック 3 0 2 c を囲むように配置されている。エッジリング 3 0 2 b は、フォーカスリングと呼ばれることもある。

【 0 0 4 6 】

基台 3 0 2 a の内部には、流路 3 0 2 g が形成されている。流路 3 0 2 g には、図示しないチラーユニットから配管 3 6 0 を介して冷媒が供給される。流路 3 0 2 g 内に供給された冷媒は、配管 3 6 1 を介してチラーユニットに戻される。チラーユニットによって温度が制御された冷媒が基台 3 0 2 a の流路 3 0 2 g 内を循環することにより、基台 3 0 2 a の温度が制御される。基台 3 0 2 a 内を流れる冷媒と、静電チャック 3 0 2 c 内のヒータ 3 0 2 d とによって、静電チャック 3 0 2 c 上の基板 W の温度が制御される。本実施形態において、基板 W の温度は、2 0 0 [ ] 以下 (例えば 1 5 0 [ ]) に制御される。

【 0 0 4 7 】

また、ステージ 3 0 2 には、He ガス等の伝熱ガスを、静電チャック 3 0 2 c と基板 W との間に供給するための配管 3 6 2 が設けられている。

【 0 0 4 8 】

マイクロ波出力装置 3 0 4 は、処理容器 3 0 1 内に供給された処理ガスを励起するためのマイクロ波を出力する。マイクロ波出力装置 3 0 4 は、例えば 2 . 4 [ G H z ] の周波数のマイクロ波を発生させる。

【 0 0 4 9 】

マイクロ波出力装置 3 0 4 は、導波管 3 0 8 を介してモード変換器 3 0 9 に接続されている。モード変換器 3 0 9 は、マイクロ波出力装置 3 0 4 から出力されたマイクロ波のモードを変換し、モードが変換されたマイクロ波を同軸導波管 3 1 0 を介してアンテナ 3 0 5 に供給する。

【 0 0 5 0 】

同軸導波管 3 1 0 は、外側導体 3 1 0 a および内側導体 3 1 0 b を含む。外側導体 3 1 0 a および内側導体 3 1 0 b は、略円筒形状を有しており、外側導体 3 1 0 a および内側導体 3 1 0 b の中心軸が軸線 Z に略一致するようにアンテナ 3 0 5 の上部に配置されている。

【 0 0 5 1 】

アンテナ 3 0 5 は、冷却ジャケット 3 0 5 a、誘電体板 3 0 5 b、およびスロット板 3 0 5 c を含む。スロット板 3 0 5 c は、導電性を有する金属によって略円板状に形成されている。スロット板 3 0 5 c は、スロット板 3 0 5 c の中心軸が軸線 Z に一致するように誘電体窓 3 0 7 の上面に設けられている。スロット板 3 0 5 c には、複数のスロット穴が形成されている。複数のスロット穴は、2 つ一組となって、スロット板 3 0 5 c の中心軸の周りに配列されている。

【 0 0 5 2 】

誘電体板 3 0 5 b は、石英等の誘電体材料によって略円盤状に形成されている。誘電体板 3 0 5 b は、誘電体板 3 0 5 b の中心軸が軸線 Z に略一致するようにスロット板 3 0 5

10

20

30

40

50



c上に配置されている。冷却ジャケット305aは、誘電体板305b上に設けられている。

#### 【0053】

冷却ジャケット305aは、表面に導電性を有する材料により形成されており、内部には流路305eが形成されている。流路305e内には、図示しないチラーユニットから冷媒が供給される。冷却ジャケット305aの上部表面には、外側導体310aの下端が電氣的に接続されている。また、内側導体310bの下端は、冷却ジャケット305aおよび誘電体板305bの中央部分に形成された開口を通して、スロット板305cに電氣的に接続されている。

#### 【0054】

同軸導波管310内を伝搬したマイクロ波は、誘電体板305b内を伝搬して、スロット板305cに形成された複数のスロット穴から誘電体窓307に伝搬する。誘電体窓307に伝搬したマイクロ波は、誘電体窓307の下面から処理空間S内に放射される。

#### 【0055】

同軸導波管310の内側導体310bの内側には、ガス管311が設けられている。スロット板305cの中央部には、ガス管311が通過可能な貫通穴305dが形成されている。ガス管311は、内側導体310bの内側を通して延在しており、ガス供給部312に接続されている。

#### 【0056】

ガス供給部312は、基板Wに封止膜を積層するための処理ガスをガス管311に供給する。ガス供給部312は、ガス供給源312a、バルブ312b、および流量制御器312cを含む。ガス供給源312aは、封止膜を成膜するための処理ガスの供給源である。処理ガスには、窒素含有ガス、シリコン含有ガス、および希ガスが含まれる。本実施形態において、窒素含有ガスは、例えばNH<sub>3</sub>ガスまたはN<sub>2</sub>ガスであり、シリコン含有ガスは、例えばSiH<sub>4</sub>ガスであり、希ガスは、例えばHeガスまたはArガスである。

#### 【0057】

バルブ312bは、ガス供給源312aからの処理ガスの供給および供給停止を制御する。流量制御器312cは、例えばマスフローコントローラ等であり、ガス供給源312aからの処理ガスの流量を制御する。

#### 【0058】

誘電体窓307内には、インジェクタ313が設けられている。インジェクタ313は、ガス管311を介して供給された処理ガスを、誘電体窓307に形成された貫通穴307hを介して処理空間S内に噴射する。処理空間S内に噴射された処理ガスは、誘電体窓307を介して処理空間S内に放射されたマイクロ波によって励起される。これにより、処理空間S内で処理ガスがプラズマ化され、プラズマに含まれるイオンおよびラジカル等により、基板Wに封止膜が積層される。本実施形態において、封止膜は、例えばシリコン窒化膜である。

#### 【0059】

##### [加熱装置400の構成]

図4は、本開示の一実施形態における加熱装置400の一例を示す概略図である。加熱装置400は、容器401、排気管402、供給管403、載置台404、ランプハウス405、および赤外線ランプ406を有する。

#### 【0060】

容器401内には、基板Wが載置される載置台404が設けられている。基板Wが載置される載置台404の面と対向する位置には、ランプハウス405が設けられている。ランプハウス405内には、赤外線ランプ406が配置されている。

#### 【0061】

容器401内には、供給管403を介して不活性ガスが供給される。本実施形態において、不活性ガスは、例えばN<sub>2</sub>ガスである。

#### 【0062】

10

20

30

40

50

載置台 404 上に基板 W が載置された状態で、供給管 403 を介して容器 401 内に不活性ガスが供給される。そして、赤外線ランプ 406 を点灯させることにより、凹部に有機材料が積層された基板 W が例えば 280 [ ] より高い温度に加熱される。本実施形態において、基板 W は、例えば 500 [ ] に加熱される。基板 W の凹部に積層されたポリ尿素膜が 280 [ ] より高い温度に達すると、ポリ尿素膜がイソシアネートとアミンとに解重合する。そして、解重合したイソシアネートおよびアミンのガスは、封止膜を介して凹部から脱離する。

【0063】

[エアギャップの形成方法]

図 5 は、半導体装置の製造方法の一例を示すフローチャートである。例えば、搬送機構 106 によって、例えば図 6 に示されるような、異なる幅の凹部 61 および凹部 62 が形成された基板 W が成膜装置 200 内に搬入されることにより、図 5 に例示された処理が開始される。図 6 の例では、凹部 62 の幅 W2 は、凹部 61 の幅 W1 よりも広い。

10

【0064】

まず、成膜装置 200 により、温度調整工程が実行される (S10)。ステップ S10 では、ステージ 211 内のステージヒータ 214 と、ステージ 211 の流路 215 内を流れる冷媒とによって、ステージ 211 上に載置された基板 W の温度が 200 [ ] 以上かつ 280 [ ] 以下の範囲内の温度 (例えば 250 [ ] ) に調整される。

【0065】

次に、成膜装置 200 により、第 1 の積層工程が実行される (S11)。ステップ S11 では、処理空間 Sp 内にイソシアネートのガスおよびアミンのガスが供給される。これにより、基板 W 上にポリ尿素膜 63 が積層される。200 [ ] 以上かつ 280 [ ] 以下の範囲では、ポリ尿素は重合と解重合とが共存し、ポリ尿素膜 63 は流動性を有する。そのため、凹部 61 の側壁に付着したポリ尿素膜 63 は凹部 61 の底に流れ込み、凹部 62 の側壁に付着したポリ尿素膜 63 が凹部 62 の底に流れ込む。例えば、基板 W の表面に厚さ D のポリ尿素膜 63 が積層された場合、例えば図 7 に示されるように、凹部 61 の底には、厚さ D よりも厚い厚さ D1 のポリ尿素膜 63 が積層され、凹部 62 の底には、厚さ D よりも厚い厚さ D2 のポリ尿素膜 63 が積層される。

20

【0066】

ここで、本実施形態において、ステップ S11 において基板 W 上に積層されるポリ尿素膜 63 の厚さ D は、凹部 61 よりも幅が広い凹部 62 の幅 W2 の 1/4 以下の厚さである。また、凹部 61 の容積に対する凹部 61 の側壁の面積の比と、凹部 62 の容積に対する凹部 62 の側壁の面積の比とは異なる。図 7 の例では、凹部 61 の容積に対する凹部 61 の側壁の面積の比は、凹部 62 の容積に対する凹部 62 の側壁の面積の比よりも小さい。そのため、凹部 61 の側壁から凹部 61 の底に流れ込んだポリ尿素膜 63 の厚さ D1 は、凹部 62 の側壁から凹部 62 の底に流れ込んだポリ尿素膜 63 の厚さ D2 よりも厚くなる。図 7 の例では、厚さ D1 と厚さ D2 との差は、D である。なお、凹部 61 および凹部 62 の周囲の基板 W 上には、例えば図 7 に示されるように、厚さ D のポリ尿素膜 63 が残存している。

30

【0067】

次に、成膜装置 200 により、除去工程が実行される (S12)。ステップ S12 では、ステージ 211 上に載置された基板 W の温度が 200 [ ] 以上かつ 280 [ ] 以下の範囲内の温度 (例えば 250 [ ] ) に維持された状態で、処理空間 Sp 内へのガスの供給が停止される。これにより、ポリ尿素膜 63 の上面から基板 W の温度および加熱時間に応じた深さまでのポリ尿素膜 63 が熱分解され、基板 W から脱離する。本実施形態では、厚さ D2 以上のポリ尿素膜 63 が熱分解されるように、基板 W の温度および加熱時間が調整される。これにより、例えば図 8 に示されるように、凹部 62 の底に流れ込んだポリ尿素膜 63 と、凹部 61 および凹部 62 の周囲の基板 W 上に残存していたポリ尿素膜 63 とが除去される。凹部 61 内においても、凹部 61 の底に流れ込んだ厚さ D1 のポリ尿素膜 63 の一部が熱分解されるため、凹部 61 の底には厚さ D1 よりも薄い厚さ D3 のポリ尿

40

50

素膜 63 が残る。そして、基板 W は、搬送機構 106 によって成膜装置 200 から搬出され、プラズマ処理装置 300 内に搬入される。

【0068】

次に、プラズマ処理装置 300 により、第 2 の積層工程が実行される (S13)。ステップ S13 では、マイクロ波のプラズマを用いて、基板 W 上に封止膜が積層される。これにより、例えば図 9 に示されるように、基板 W の凹部 61 内のポリ尿素膜 63 上に封止膜 64 が積層される。そして、基板 W は、搬送機構 106 によってプラズマ処理装置 300 から搬出され、加熱装置 400 内に搬入される。

【0069】

次に、加熱装置 400 によって脱離工程が実行される (S14)。ステップ S14 では、基板 W が、加熱装置 400 によって例えば 300 [ ] 以上の温度 (例えば 500 [ ] ) に加熱される。これにより、封止膜 64 の下層のポリ尿素膜 63 が熱分解され、封止膜 64 を介して脱離する。これにより、例えば図 10 に示されるように、凹部 61 において、封止膜 64 の下に、ポリ尿素膜 63 の形状に対応したエアギャップ 65 が形成される。そして、基板 W は、搬送機構 106 によって加熱装置 400 から搬出され、本フローチャートに示された処理が終了する。

【0070】

[ 温度、圧力、および D / R の関係 ]

図 11 は、基板 W の温度に対する D / R (デポジションレート) および除去率の関係の一例を示す図である。図 11 に示された実験では、基板 W が収容された成膜装置 200 の処理空間 S<sub>p</sub> 内において、イソシアネートのガスおよびアミンのガスの分圧は、それぞれ 0.1 [ Torr ] である。また、除去率とは、基板 W の温度に対して、100 [ nm ] の膜厚のポリ尿素膜 63 が 1 分間に減少する膜厚を % で表したものである。

【0071】

ポリ尿素膜 63 を基板 W 上に積層させる場合、例えば図 11 の点線で示されるように、基板 W の温度が高くなると、ポリ尿素膜 63 の D / R は小さくなる傾向が見られる。また、基板 W の温度が 180 [ ] 以上ではポリ尿素膜 63 の D / R の低下が徐々に緩やかになっており、D / R の低下は約 2 [ nm / min ] で止まっている。

【0072】

一方、基板 W の温度が高くなると、例えば図 11 の破線で示されるように、ポリ尿素膜 63 の除去率は大きくなる傾向が見られる。また、除去率の傾向を見ると、ポリ尿素膜 63 の除去は、基板 W の温度が 200 [ ] 付近から始まっている。即ち、基板 W の温度が 220 [ ] 以上では、ポリ尿素膜 63 の一部で解重合が始まっており、ポリ尿素膜 63 は、流動性を帯びた状態であると考えられる。

【0073】

また、図 11 を参照すると、基板 W の温度が 260 [ ] 付近では、ポリ尿素膜 63 の除去率が約 2 [ % / min ] となっており、初期の膜厚が 100 [ nm ] では、単位時間当たりのポリ尿素膜 63 の除去量は約 2 [ nm / min ] となる。基板 W の温度が 260 [ ] 付近では、ポリ尿素膜 63 の D / R が約 2 [ nm / min ] であるため、基板 W の温度が 260 [ ] より高くなると、基板 W 上でポリ尿素膜 63 の膜厚が増加しないと考えられる。そのため、ポリ尿素膜 63 の成膜は、基板 W の温度が 220 [ ] 以上かつ 260 [ ] 以下の範囲内の温度で行われることが好ましい。

【0074】

なお、図 11 の実験は、イソシアネートのガスおよびアミンのガスの分圧がそれぞれ 0.1 [ Torr ] で行われた。しかし、イソシアネートのガスおよびアミンのガスの分圧が高くなると、D / R が高くなり、除去率が低くなる傾向がある。そのため、イソシアネートのガスおよびアミンのガスの分圧がそれぞれ 1 [ Torr ] になると、基板 W の温度が 280 [ ] でもポリ尿素膜 63 の除去率が 2 [ % / min ] 以上となると考えられる。

【0075】

一方、イソシアネートのガスおよびアミンのガスの分圧が低くなると、D / R が低くな

10

20

30

40

50

り、除去率が高くなる傾向がある。そのため、イソシアネートのガスおよびアミンのガスの分圧がそれぞれ  $0.01$  [ Torr ] になると、基板 W の温度が  $200$  [ ] でもポリ尿素膜 63 の流動化が始まると考えられる。

【 0076 】

従って、ポリ尿素膜 63 の成膜は、基板 W の温度が  $200$  [ ] 以上かつ  $280$  [ ] 以下の範囲内の温度で行われることが好ましい。また、イソシアネートのガスおよびアミンのガスの分圧は、それぞれ  $0.01$  [ Torr ] 以上かつ  $1$  [ Torr ] 以下の範囲内の圧力であることが好ましい。

【 0077 】

また、基板 W の温度が低い場合、ポリ尿素膜 63 の流動性が低いため、幅の狭い凹部 61 ではポリ尿素膜 63 にポイドが残る場合がある。ポリ尿素膜 63 内にポイドが残ると、ポイドの大きさによっては、ポリ尿素膜 63 の上面の高さがばらつく。これにより、ポリ尿素膜 63 の上に形成される封止膜 64 の高さがばらつき、ポリ尿素膜 63 が除去された後のエアギャップ 65 の大きさがばらつく。そのため、ポリ尿素膜 63 内にポイドが発生しないように、基板 W の温度は  $220$  [ ] 以上であることがより好ましい。

10

【 0078 】

また、基板 W の温度が  $280$  [ ] 付近では、除去率が高いため、予め定められた膜厚のポリ尿素膜 63 の成膜に時間がかかる。そのため、スループット向上の観点では、基板 W の温度は  $250$  [ ] 以下であることがより好ましい。即ち、ポリ尿素膜 63 の成膜は、基板 W の温度が  $220$  [ ] 以上かつ  $250$  [ ] 以下の範囲内の温度で行われることがより好ましい。

20

【 0079 】

以上、実施形態について説明した。上記したように、本実施形態における半導体装置の製造方法は、温度調整工程と、第 1 の積層工程とを含む。温度調整工程では、成膜装置 200 の容器 209 内に收容された、凹部が形成された基板 W が、 $200$  以上かつ  $280$  以下の範囲内の温度に調整される。第 1 の積層工程では、容器 209 内にイソシアネートのガスおよびアミンのガスが供給されることにより、基板 W の凹部にポリ尿素膜 63 が積層される。これにより、幅が広い凹部 62 よりも幅が狭い凹部 61 の方に選択的にポリ尿素膜 63 を積層することができる。

【 0080 】

また、上記した実施形態における半導体装置の製造方法は、第 2 の積層工程と、脱離工程とを含む。第 2 の積層工程では、凹部に積層されたポリ尿素膜 63 上に封止膜 64 が積層される。脱離工程では、基板 W の温度が  $280$  [ ] よりも高い温度に調整されることにより、封止膜 64 の下層のポリ尿素膜 63 が熱分解され、封止膜 64 の下層のポリ尿素膜 63 が、封止膜 64 を介して脱離することにより、封止膜 64 と凹部との間にエアギャップ 65 が形成される。これにより、予め定められた形状のエアギャップ 65 を効率よく形成することができる。

30

【 0081 】

また、上記した実施形態における温度調整工程では、基板 W の温度が、 $220$  [ ] 以上かつ  $250$  [ ] 以下の範囲内の温度に調整される。これにより、予め定められた形状のエアギャップ 65 を効率よく形成することができる。

40

【 0082 】

また、上記した実施形態における第 1 の積層工程では、イソシアネートのガスおよびアミンのガスの分圧は、それぞれ  $0.01$  [ Torr ] 以上かつ  $1$  [ Torr ] 以下の範囲内の圧力に調整される。これにより、幅が広い凹部 62 よりも幅が狭い凹部 61 の方に選択的にポリ尿素膜 63 を積層することができる。

【 0083 】

また、上記した実施形態における成膜装置は、容器 209 と、ガス供給部 220 と、ステージヒータ 214 と、制御装置 100 とを備える。容器 209 には、凹部が形成された基板 W が收容される。ガス供給部 220 は、容器 209 内にイソシアネートのガスとアミ

50

ンのガス供給する。ステージヒータ214は、基板Wを加熱する。制御装置100は、温度調整工程と、積層工程とを実行する。制御装置100は、温度調整工程において、容器209内に収容された基板Wの温度が200 [ ]以上かつ280 [ ]以下の範囲内の温度に調整されるようにステージヒータ214を制御する。制御装置100は、積層工程において、容器209内にイソシアネートのガスおよびアミンのガスが供給されるようにガス供給部220を制御することにより、基板Wの凹部にポリ尿素膜63を積層する。これにより、幅が広い凹部62よりも幅が狭い凹部61の方に選択的にポリ尿素膜63を積層することができる。

#### 【0084】

また、上記した実施形態における成膜装置200は、容器209内のガスを排気する排気ダクト202と、基板Wが晒されている容器209内の空間である処理空間 $S_p$ と、ガス供給部220内の空間である排気空間 $S_E$ との間に設けられた排気シールドとを備える。排気シールドは、排気空間 $S_E$ 内の圧力を処理空間 $S_p$ 内の圧力よりも低く維持する。例えば、排気シールドは、処理空間 $S_p$ 内の圧力を排気空間 $S_E$ 内の圧力よりも1 [ Torr ]以上高い圧力に維持する。これにより、ガス供給部220の側壁へのデポの付着を抑制することができる。

10

#### 【0085】

[その他]

なお、本願に開示された技術は、上記した実施形態に限定されるものではなく、その要旨の範囲内で数々の変形が可能である。

20

#### 【0086】

例えば、上記した実施形態では、第1の積層工程と除去工程とで処理空間 $S_p$ 内の圧力は同一であるが、処理空間 $S_p$ 内の圧力が0.01 [ Torr ] ~ 1 [ Torr ]の範囲に含まれる圧力であれば、第1の積層工程と除去工程とで処理空間 $S_p$ 内の圧力は異なってもよい。例えば、処理空間 $S_p$ 内の圧力が0.01 [ Torr ] ~ 1 [ Torr ]の範囲に含まれる圧力であれば、第1の積層工程における処理空間 $S_p$ 内の圧力は、除去工程における処理空間 $S_p$ 内の圧力より多少高くてもよい。この場合、第1の積層工程におけるD/Rを高めることができると共に、除去工程におけるリセスレートを高めることができ、処理時間を短縮することができる。

#### 【0087】

また、上記した実施形態において、製造システム10は、成膜装置200-1、成膜装置200-2、プラズマ処理装置300、および加熱装置400を備えるが、開示の技術はこれに限られない。製造システム10は、成膜装置200、プラズマ処理装置300、および加熱装置400のうち、少なくともいずれか1つを複数備えていてもよい。特に、製造システム10は、他の装置に比べて処理に時間を要する装置の数を多く備えることが好ましい。これにより、処理のボトルネックを低減することができる。

30

#### 【0088】

また、上記した実施形態では、重合体の膜の一例として尿素結合を有するポリ尿素膜が用いられたが、重合体の膜としては、尿素結合以外の結合を有する重合体が用いられてもよい。尿素結合以外の結合を有する重合体としては、例えば、ウレタン結合を有するポリウレタン等が挙げられる。ポリウレタンは、例えば、アルコール基を有するモノマーとイソシアネート基を有するモノマーとを共重合させることにより合成することができる。また、ポリウレタンは、予め定められた温度に加熱されることにより、アルコール基を有するモノマーとイソシアネート基を有するモノマーとに解重合する。

40

#### 【0089】

なお、今回開示された実施形態は全ての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。実に、上記した実施形態は多様な形態で具現され得る。また、上記の実施形態は、添付の特許請求の範囲およびその趣旨を逸脱することなく、様々な形態で省略、置換、変更されてもよい。

#### 【符号の説明】

50

## 【 0 0 9 0 】

S<sub>P</sub> 処理空間S<sub>E</sub> 排気空間

W 基板

W 1 幅

W 2 幅

1 0 製造システム

1 0 0 制御装置

1 0 1 真空搬送室

1 0 2 ロードロック室

10

1 0 3 大気搬送室

1 0 4 アライメント室

1 0 5 ポート

1 0 6 搬送機構

1 0 8 搬送機構

2 0 0 成膜装置

2 0 1 下部容器

2 0 2 排気ダクト

2 0 3 排気口

2 0 9 容器

20

2 1 0 支持構造体

2 1 1 ステージ

2 1 4 ステージヒータ

2 2 0 ガス供給部

2 3 0 シャワーヘッド

2 5 0 ヒータ

3 0 0 プラズマ処理装置

3 0 1 処理容器

3 0 2 ステージ

3 0 2 a 基台

30

3 0 2 b エッジリング

3 0 2 c 静電チャック

3 0 2 d ヒータ

3 0 4 マイクロ波出力装置

3 0 7 誘電体窓

3 1 0 同軸導波管

3 1 1 ガス管

3 1 2 ガス供給部

3 3 1 排気装置

3 4 0 R F 電源

40

4 0 0 加熱装置

6 1 凹部

6 2 凹部

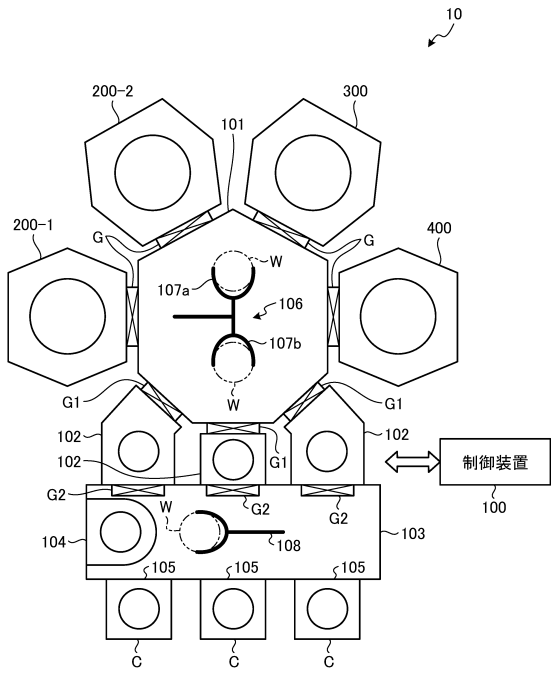
6 3 ポリ尿素膜

6 4 封止膜

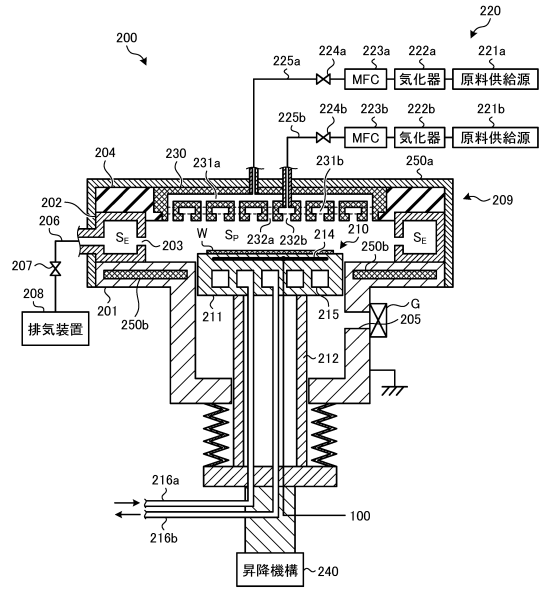
6 5 エアギャップ

【図面】

【図 1】



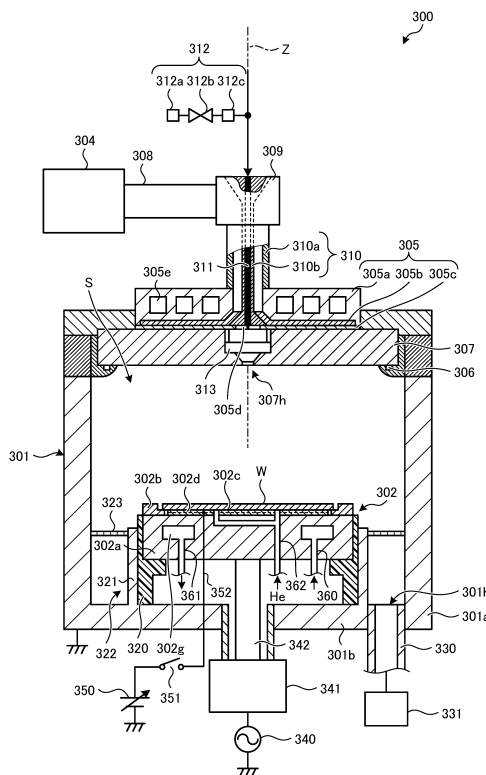
【図 2】



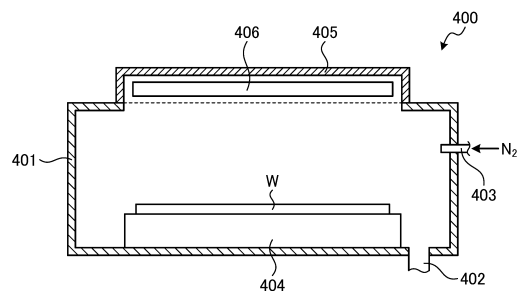
10

20

【図 3】



【図 4】

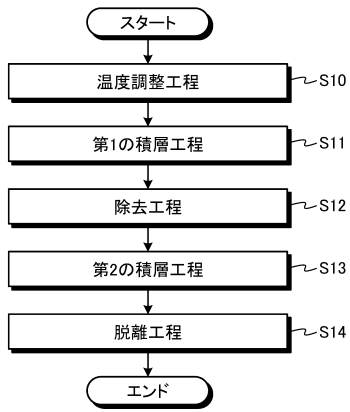


30

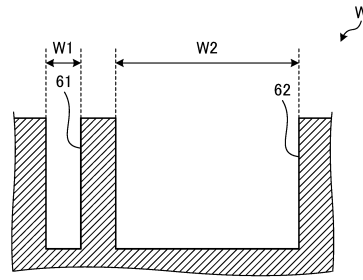
40

50

【図5】

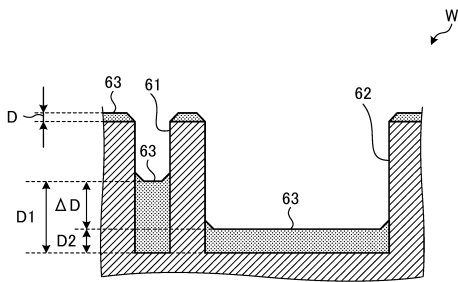


【図6】

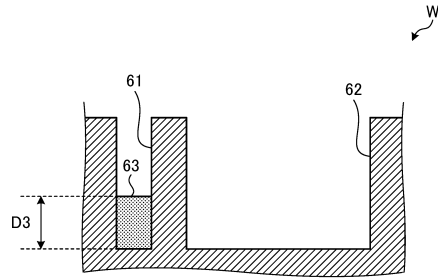


10

【図7】



【図8】



20

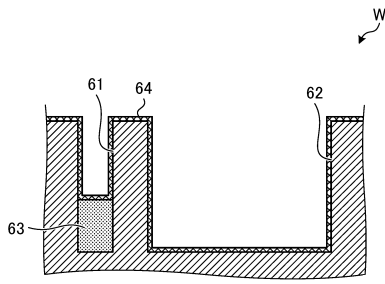
30

40

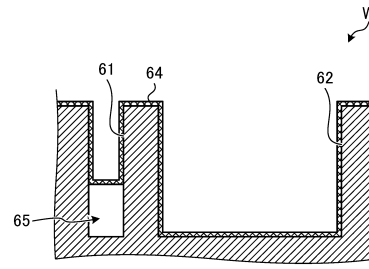
50



【図 9】

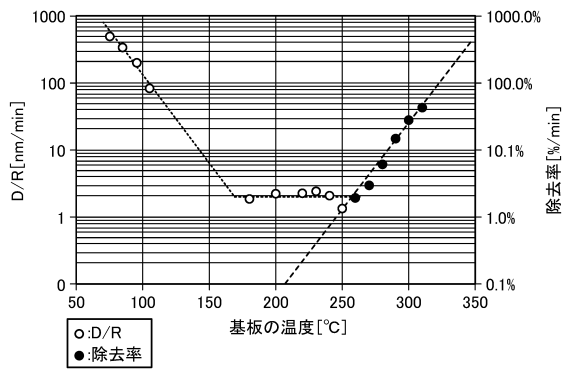


【図 10】



10

【図 11】



20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2019-106490(JP,A)  
特開2020-080397(JP,A)  
特開2015-229776(JP,A)  
特開2006-070263(JP,A)  
特開2015-048411(JP,A)  
米国特許出願公開第2018/0158693(US,A1)  
米国特許出願公開第2018/0261458(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H01L 21/318  
H01L 21/31  
H01L 21/312