

(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2021-52182  
(P2021-52182A)

(43) 公開日 令和3年4月1日(2021.4.1)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H01L 21/31 (2006.01)</b>	H01L 21/31	B 4K030
<b>C23C 16/448 (2006.01)</b>	C23C 16/448	5F045
<b>C23C 16/52 (2006.01)</b>	C23C 16/52	

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L 外国語出願 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2020-155939 (P2020-155939)	(71) 出願人	512144771 エーエスエム アイピー ホールディング ビー. ブイ. オランダ国 1322 エーピー アルメ ーレ フェルステルケルシュトラート 8
(22) 出願日	令和2年9月17日 (2020.9.17)	(74) 代理人	100118256 弁理士 小野寺 隆
(31) 優先権主張番号	62/903, 566	(72) 発明者	ウィンクラー ジェレルド リー オランダ国 1322 エーピー アルメ ーレ フェルステルケルシュトラート 8
(32) 優先日	令和1年9月20日 (2019.9.20)	(72) 発明者	シュロ エリック ジェームズ オランダ国 1322 エーピー アルメ ーレ フェルステルケルシュトラート 8
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		

最終頁に続く

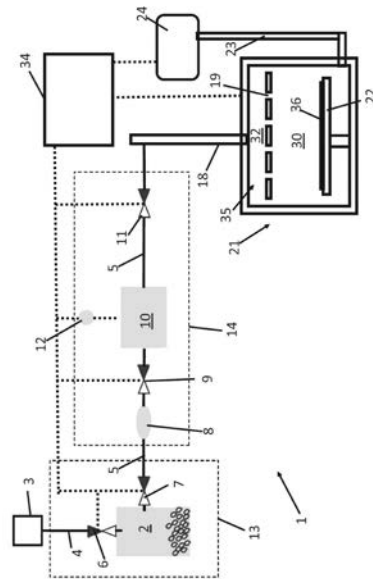
(54) 【発明の名称】 半導体加工装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 反応チャンバーの上流のプロセス制御チャンバーを含む半導体加工装置を提供する。

【解決手段】 半導体加工装置 1 は、反応器 2 1 と、気化された固体反応物質を反応器に供給するように構成された固体原料容器 2 とを含む。プロセス制御チャンバー 10 は、固体原料容器と反応器との間に配置される。該装置は、プロセス制御チャンバーの上流に反応物質ガスバルブ 7 を含む。制御システム 3 4 は、プロセス制御チャンバー内の測定された圧力のフィードバックに少なくとも部分的に基づいて、該バルブの動作を制御する。

【選択図】 図 1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

半導体加工装置であって、  
反応器と、

気化された反応物質を前記反応器に供給するように構成された固体原料容器と、  
前記固体原料容器と前記反応器との間で、前記固体原料容器と前記反応器とに流体連通  
するプロセス制御チャンパーと、

前記固体原料容器と前記プロセス制御チャンパーとの間の、前記プロセス制御チャンパー  
の上流のプロセス制御バルブと、

前記プロセス制御チャンパー内の測定された圧力のフィードバックに少なくとも部分的  
に基づいて、前記プロセス制御バルブの動作を制御するように構成された制御システムと  
、を備える、半導体加工装置。

10

**【請求項 2】**

前記プロセス制御チャンパー内の前記圧力を測定するように構成された圧力変換器をさら  
に備える、請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 3】**

前記制御システムが、比例積分微分 ( P I D ) コントローラを備える、請求項 1 に記載  
の装置。

**【請求項 4】**

前記プロセス制御バルブが、開閉バイナリバルブを備える、請求項 1 に記載の装置。

20

**【請求項 5】**

第一の温度で第一の熱ゾーンを、および前記第一の温度より高い第二の温度で第二の熱  
ゾーンをさらに備え、前記固体原料容器が前記第一の熱ゾーンに配置され、および前記プ  
ロセス制御バルブと前記プロセス制御チャンパーとが前記第二の熱ゾーンに配置される、  
請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 6】**

前記第二の温度が、 5 ~ 45 の範囲の量だけ前記第一の温度より高い、請求項 5 に  
記載の装置。

**【請求項 7】**

前記固体原料容器と前記プロセス制御チャンパーとの間にフィルターをさらに備える、  
請求項 1 に記載の装置。

30

**【請求項 8】**

前記プロセス制御チャンパーと前記反応器との間に反応器供給バルブをさらに備え、前  
記反応器供給バルブが、前記気化された反応物質を前記反応器へパルスするよう構成され  
る、請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 9】**

前記反応器が、反応チャンパー、および前記反応チャンパー内に前記気化された反応物  
質を分散させるための分散装置を備える、請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 10】**

気化された反応物質を形成するための装置であって、

40

第一の温度で第一の熱ゾーン内に配置された固体原料容器と、

前記固体原料容器の下流で、前記固体原料容器と流体連通するプロセス制御チャンパー  
であって、前記プロセス制御チャンパーが、前記第一の温度より高い第二の温度で第二の  
熱ゾーン内に配置され、かつ前記気化された反応物質を前記プロセス制御チャンパーの下  
流の反応器に移送するように構成された、プロセス制御チャンパーと、

前記プロセス制御チャンパーの上流で、前記固体原料容器と前記プロセス制御チャンパー  
との間の前記第二の熱ゾーン内に配置された、プロセス制御バルブと、

前記プロセス制御チャンパー内の測定された圧力のフィードバックに少なくとも部分的  
に基づいて、前記プロセス制御バルブの動作を制御するように構成される、制御システム  
と、を備える、装置。

50

- 【請求項 1 1】  
前記プロセス制御チャンバー内の前記圧力を測定するように構成された圧力変換器をさらに備える、請求項 1 0 に記載の装置。
- 【請求項 1 2】  
前記制御システムが、比例積分微分 ( P I D ) コントローラを備える、請求項 1 0 に記載の装置。
- 【請求項 1 3】  
前記プロセス制御バルブが、開閉バイナリーバルブを備える、請求項 1 0 に記載の装置。
- 【請求項 1 4】 10  
前記固体原料容器と前記プロセス制御チャンバーとの間にフィルターをさらに備える、請求項 1 0 に記載の装置。
- 【請求項 1 5】  
プロセス制御ボリュームの下流の前記反応器、および前記プロセス制御チャンバーと前記反応器との間の反応器供給バルブをさらに備え、前記反応器供給バルブが、前記気化された反応物質を前記反応器にパルスするように構成された、請求項 1 0 に記載の装置。
- 【請求項 1 6】  
前記反応器が、反応チャンバー、および前記反応チャンバー内に前記気化された反応物質を分散させるための分散装置を備える、請求項 1 5 に記載の装置。
- 【請求項 1 7】 20  
気化された反応物質を形成する方法であって、  
固体反応物質を気化して反応物質蒸気を形成することと、  
前記反応物質蒸気をプロセス制御チャンバーに移送することと、  
前記プロセス制御チャンバー内の測定された圧力のフィードバックに少なくとも部分的に基づいて、前記プロセス制御チャンバーの上流のプロセス制御バルブの動作を制御することと、  
前記反応物質蒸気を前記プロセス制御チャンバーから反応チャンバーに移送することと、  
を含む、方法。
- 【請求項 1 8】 30  
前記プロセス制御チャンバー内の前記圧力を、圧力変換器で測定することをさらに含む、請求項 1 7 に記載の方法。
- 【請求項 1 9】  
前記プロセス制御バルブの前記動作を制御することが、比例積分微分 ( P I D ) コントローラを使用することを含む、請求項 1 7 に記載の方法。
- 【請求項 2 0】  
前記プロセス制御バルブの前記動作を制御することが、前記プロセス制御バルブが開かれている期間を制御することを含む、請求項 1 7 に記載の方法。
- 【発明の詳細な説明】
- 【技術分野】 40
- 【0 0 0 1】  
関連出願の相互参照  
本出願は、2019年9月20日に出願された米国仮特許出願第62/903,566号の優先権を主張するものであり、その内容全体は参照により、かつすべての目的のためにその全体が本明細書に組み込まれる。
- 【0 0 0 2】  
本技術分野は、半導体加工装置に関連し、特に、反応チャンバーの上流のプロセス制御チャンバーを含む半導体加工装置に関する。
- 【背景技術】
- 【0 0 0 3】 50

半導体加工中、様々な反応物質蒸気が反応チャンバーに供給される。一部の用途において、周囲圧力および温度で固相の原料化学物質の反応物質蒸気を使用される。これらの固体原料物質を熱して昇華させて、蒸着などの反応プロセスのために気化された反応物質を生成することができる。化学蒸着（CVD）は、反応チャンバーへの反応物質蒸気の連続的な流れの供給を必要とする場合があり、一方で原子層堆積（ALD）、パルスCVD、およびそれらの混成物は、所望の構成に応じて、時間分割および空間分割されたパルス化されるプロセスを含み、反応チャンバーへの連続的な流れまたはパルス供給を必要とする場合がある。このような固体物質からの気相反応物質はまた、半導体産業の他のタイプの化学反応（例えば、エッチング、ドーピングなど）、および他の様々な産業の他のタイプの化学反応に有用でありうる。しかしながら、蒸発温度および分解温度の間の小さなプロセスウィンドウ、低い蒸気圧、ならびにかかる固体反応物質のための均一なドーズ量の必要性に部分的に起因して、固体反応物質源からの気相送達に対する制御の改善が未だに継続的に要求される。

10

20

30

40

50

#### 【発明の概要】

##### 【0004】

一実施形態では、半導体加工装置が開示される。半導体加工装置は、反応器と、気化された反応物質を反応器に供給するように構成された固体原料容器とを含む。半導体加工装置は、固体原料容器と反応器との間に、固体原料容器と反応器とに流体連通するプロセス制御チャンバーを含みうる。プロセス制御バルブは、固体原料容器とプロセス制御チャンバーとの間でプロセス制御チャンバーの上流に配置することができる。半導体加工装置は、プロセス制御チャンバー内の測定された圧力のフィードバックに少なくとも部分的に基づいて、プロセス制御バルブの動作を制御するように構成された制御システムを含みうる。

##### 【0005】

別の実施形態では、気化された反応物質を形成するための装置が開示される。装置は、第一の温度で第一の熱ゾーン内に配置された固体原料容器を含むことができる。装置は、固体原料容器の下流に固体原料容器と流体連通してプロセス制御チャンバーを含むことができる。プロセス制御チャンバーは、第一の温度よりも高い第二の温度で第二の熱ゾーン内に配置され、かつ気化された反応物質を、プロセス制御チャンバーの下流の反応器に移送するように構成されうる。装置は、プロセス制御チャンバーの上流で、かつ固体原料容器とプロセス制御チャンバーとの間の第二の熱ゾーン内に配置されたプロセス制御バルブを含みうる。制御システムは、プロセス制御チャンバー内の測定された圧力のフィードバックに少なくとも部分的に基づいて、プロセス制御バルブの動作を制御するように構成されうる。

##### 【0006】

別の実施形態では、気化された反応物質を形成する方法が開示される。方法は、固体反応物質を気化して反応物質蒸気を形成することを含みうる。方法は、反応物質蒸気をプロセス制御チャンバーに移送することを含みうる。方法は、プロセス制御チャンバー内の測定された圧力のフィードバックに少なくとも部分的に基づいて、プロセス制御チャンバーの上流のプロセス制御バルブの動作を制御することを含みうる。方法は、反応物質蒸気をプロセス制御チャンバーから反応チャンバーに移送することを含みうる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【0007】

ここで、本発明のこれらおよびその他の特徴、態様、および利点を、本発明を限定するのではなく例示することを意図する、幾つかの実施形態の図面を参照して記述する。

##### 【0008】

【図1】図1は、一実施形態による半導体加工装置の概略的なシステム図である。

【図2】図2は、様々な実施形態による、半導体加工方法を示すフローチャートである。

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0009】

本明細書に開示される実施形態は、堆積前駆体などの固体反応物質の気相送達の制御を改善する半導体加工装置に関する。本明細書に開示される実施形態は、原子層堆積（ALD）装置、化学蒸着（CVD）装置、このようなパルス化されるプロセスの変形のために構成された装置、有機金属CVD（MOCVD）装置、物理蒸着装置（PVD）などを含む、任意の好適なタイプの半導体加工装置と併せて使用することができる。

#### 【0010】

例えば、ALDは、基材上に非常に均一な薄膜を成長させるための方法である。時間分割ALD反応器では、基材は不純物のない反応空間内に置かれ、少なくとも二つの異なる反応物質（前駆体、または他の反応物質蒸気）が気相で交互にかつ反復的に反応空間内に注入される。反応物質蒸気はしたがって、一つ以上の反応物質および一つ以上の溶媒を含む、蒸気を含むことができる。膜の成長が、基材の表面上で発生する交互の表面反応に基づいて、原子または分子の固体層を形成するのは、反応物質と基材の温度とが、交互に注入された気相反応物質の分子が、基材上でのみその表面層と反応するように選択されるからである。反応物質は、各注入サイクル中に表面が飽和に近づくのに十分なほど高いドーズ量で注入される。したがって、プロセスは、出発物質の濃度に依存せず、理論上は自己調節的であり、それによって、極めて高い膜均一性および単一の原子または分子層の厚さ精度を達成することが可能である。同様の結果が空間分割ALD反応器で得られ、基材は異なる反応物質に交互に曝露されるゾーンに移動される。反応物質は、成長する膜（前駆体）に寄与すること、および/またはリガンドを酸化して、還元して、もしくは前駆体の吸着種から除去して、後続の反応物質の反応もしくは吸着を促進するなどの他の機能を果たすことができる。ALD方法は、元素薄膜および化合物薄膜の両方の成長に使用することができる。ALDは、サイクルで繰り返される代替の二つ以上の反応物質を含むことができ、異なるサイクルは、異なる数の反応物質を有することができる。真のALD反応は、サイクルごとに単層よりも少なく生成する傾向がある。ALD原理の実際の用途は、真の飽和制限および単層制限（*true saturation and monolayer limitations*）からの実世界の逸脱を有する傾向があり、また混成または変形プロセスは、ALDの共形性および制御の利点の一部またはすべてを達成しながら、より高い堆積率を得ることができる。

10

20

#### 【0011】

本明細書で説明するように、固体反応物質源（または反応物質溶媒混合物）を加熱容器内で昇華させて、反応器または反応チャンバーに送達される反応物質蒸気を形成することができる。しかしながら、固体反応物質材料の昇華は、低速プロセス、例えば、液体反応物質蒸発システムよりも桁違いに低速、とすることができる。さらに、固体反応物質材料の昇華速度は、原料容器形状、固体前駆体粒子の表面積、不規則形状の固体反応物質粒子、および半導体加工システムのその他の構成要素に応じて変化する。例えば、一部の事例では、固体反応物質粒子の表面積は、固体粒子凝集体に応じて動作中に変化することがある。昇華速度は動作中に経時的に変化することがあり、反応チャンバーへの気化された反応物質の供給もまた、一貫性がなく、可変であってもよい。

30

#### 【0012】

一部の半導体加工装置では、固体原料反応物質ドーズ量は、固体原料容器内の蒸気圧、固体原料容器を通る流量、およびパルス時間を制御することによって制御されうる。例えば、マスターフローコントローラ（MFC）または圧力コントローラなどの制御装置を、固体原料容器の上流に提供することができる。制御装置は、制御装置が高温環境と適合しないため、固体反応物質源を昇華させるために使用される熱源から離れていてもよい。上述のように、昇華速度が変化する場合、パルス当たりで送達される反応物質の量は変化してもよく、このことはウエハ収率を減少させ、コストを増加させうる。したがって、反応器への気化された固体反応物質の供給の改善が、未だ継続的に必要とされている。

40

#### 【0013】

図1は、様々な実施形態による半導体加工装置1の概略的なシステム図である。装置1は、気化された固体反応物質を反応器21に供給するように構成された固体原料容器2を

50

備えることができる。固体原料容器 2 は、固体反応物質源粒子の気化された反応物質への昇華を引き起こすヒーターを含むことができる。本明細書で開示されている装置 1 で使用されうる固体原料容器の例は、米国特許第 7, 122, 085 号および第 8, 137, 462 号、ならびに米国特許出願公開第 2018/0094350 号（それぞれの内容全体は参照により、かつすべての目的のためにその全体が本明細書に組み込まれる）に示され、記載される固体原料容器を含む、任意の適切なタイプの固体原料容器とすることができる。

#### 【0014】

不活性ガス源 3 は、不活性キャリアガスを不活性ガスライン 4 に沿って、固体原料容器 2 に供給できる。様々な実施形態では、ガスマスフローコントローラ (MFC) は、不活性ガスライン 4 に沿ったガスの供給を計量できる。不活性ガスバルブ 6 は、不活性ガスライン 4 に沿って設けられ、不活性ガスの固体原料容器 2 への流れを調整しうる。不活性ガスバルブ 6 は、いくつかの実施形態では、複数の流れコンダクタンス設定を有する調節可能なバルブを備えることができる。他の実施形態では、不活性ガスバルブ 6 は、バルブ 6 が不活性ガスライン 4 に沿った不活性ガスの流れを許可または遮断する、バイナリー開閉バルブを含むことができる。図 1 の実施形態では、不活性ガスは、反応物質蒸気を反応器 21 に供給する、および運ぶのを支援することができる。

#### 【0015】

固体原料容器 2 の圧力および温度は、固体反応物質粒子が反応物質蒸気へと昇華されるように制御されうる。図示した実施形態では、不活性ガス源 3 からの不活性キャリアガスは、反応物質蒸気を反応器 21 に運ぶまたは推進する役割を果たすことができる。他の実施形態では、反応物質蒸気は、加熱された反応物質および/または蒸気を吸い込む下流真空源の蒸気圧に基づいて、別個の不活性キャリアガス供給を使用せずに、供給ライン 5 に沿って供給されうる。別個の不活性ガス源を省略して、反応物質蒸気を供給ライン 5 を通して運ぶことで、装置 1 に関連する費用および複雑さを有益に低減することができる。反応物質蒸気を、反応物質蒸気供給ライン 5 に沿ってフィルター 8 に供給することができる。反応物質ガスバルブ 7 は、固体原料容器 2 からフィルター 8 への反応物質蒸気の供給を計量するために提供されうる。反応物質ガスバルブ 7 は、調節可能なバルブまたはバイナリー開閉バルブなどの任意の適切なタイプのバルブを備えることができる。図示した実施形態では、例えば、反応物質ガスバルブ 7 は、例えば、バイナリー開閉バルブのような、容器隔離バルブを備えることができる。フィルター 8 は、不完全な昇華に起因して存在する液体小滴または固体微粒子を捕捉および気化するように構成されうる。

#### 【0016】

プロセス制御チャンバー 10 は、固体原料容器 2 と反応器 21 との間に配置されうる。プロセス制御チャンバー 10 は、反応物質供給ライン 5 に沿って反応器 21 に供給される、反応物質蒸気量を計量または制御することができる。プロセス制御チャンバー 10 は、反応物質が反応器 21 に送達される前に蒸気形態で収集される中間ボリュームとして機能することができる。プロセス制御チャンバー 10 を使用して反応器 21 への反応物質蒸気の供給を制御することは、反応器 21 に対する反応物質蒸気ドーズ量のより正確な制御を有益に可能にすることができる。

#### 【0017】

プロセス制御バルブ 9 は、プロセス制御チャンバー 10 の上流に配置することができる。図示した実施形態では、プロセス制御 9 は、フィルター 8 とプロセス制御チャンバー 10 との間に配置されうる。他の実施形態では、プロセス制御バルブ 9 は、フィルター 8 と固体原料容器 2 との間に配置されうる。いくつかの実施形態では、プロセス制御バルブ 9 は、プロセス制御チャンバー 10 への気化された反応物質の流れを、許可または遮断するバイナリー開閉バルブを備えることができる。有益なことに、プロセス制御バルブ 9 に対するバイナリー開閉バルブの使用は、高温環境での使用において比較的安価かつ耐久性がありうる。他の実施形態では、プロセス制御バルブ 9 は、プロセス制御チャンバー 10 への気化された反応物質の流れコンダクタンスを制御するために、ダイヤフラムバルブまた

はプロポーショニングバルブを備えることができる。反応器供給バルブ 11 は、例えば、プロセス制御チャンバー 10 と反応器 21 との間など、プロセス制御チャンバー 10 の下流に配置されてもよい。反応器供給バルブ 11 は、いくつかの実施形態では、流れコンダクタンスを制御するバイナリー開閉バルブまたは調節可能バルブを備えることができる。例えば、図示した実施形態では、反応器供給バルブ 11 は、高温環境で動作するように構成されたバイナリーバルブを備えることができる。いくつかの実施形態では、反応器供給バルブ 11 に対して圧電バルブを使用することができる。様々な実施形態では、高温プロポーショニングバルブを使用できる。他の実施形態では、他のタイプのバルブが適している場合がある。

#### 【0018】

反応物質ガス供給ライン 5 は、反応物質蒸気を反応器 21 の吸気マニホールド 18 に供給することができる。吸気マニホールド 18 は、反応器 21 の反応チャンバー 30 に反応物質蒸気を供給することができる。示されるようなシャワーヘッドなどの分散装置 35、または他の実施形態での水平注入装置は、複数の開口部 19 と流体連通するプレナム 32 を含む。反応物質蒸気は開口部 19 を通過し、反応チャンバー 30 内に供給される。基材支持体 22 は、反応チャンバー 30 内のウエハなどの基材 36 を支持するように、構成されても、またはサイズ設定および形作られてもよい。分散反応物質蒸気は基材に接触し、反応して、基材上に層（例えば、単層など）を形成することができる。分散装置 35 は、基材上に均一な層を形成するように、反応物質蒸気を分散させる。

#### 【0019】

排気ライン 23 は、反応チャンバー 30 と流体連通することができる。真空ポンプ 24 は、排気ライン 23 に吸引を適用して、反応チャンバー 30 から蒸気および過剰材料を排出することができる。反応器 21 は、原子層堆積（ALD）装置、化学蒸着（CVD）装置などの任意の好適なタイプの半導体反応器を備えることができる。

#### 【0020】

図 1 の実施形態では、圧力変換器 12 は、プロセス制御チャンバー 10 内の圧力を監視することができる。フィードバック回路は、圧力変換器 12 をプロセス制御バルブ 9 に、電氣的に接続することができる。制御システム 34 は、装置 1 の様々な構成要素の動作を制御することができる。制御システム 34 は、バルブ 6、7、9、11、圧力変換器 12、プロセス制御チャンバー 10、反応器 21（その中の様々な構成要素）、および真空ポンプ 24 のうちの一つ以上の動作を制御するように構成された処理電子機器を備えることができる。いくつかの実施形態では、固体原料 2 のスイッチングまたは再充電のために、バルブ（バルブ 7 など）の一つ以上を手動で制御することができる。図 1 に単一構造として図示されているが、制御システム 34 は、装置 1 の様々な構成要素の動作を制御する、プロセッサ、メモリ装置、およびその他の電子部品を有する、複数のコントローラまたはサブシステムを含むことが理解されるべきである。本明細書で使用する用語「制御システム」は、他の装置（バルブ、センサなど）と統合または接続される、個々のコントローラ装置および処理電子機器の任意の組み合わせを含む。したがって、いくつかの実施形態では、制御システム 34 は、複数（またはすべて）のシステム構成要素の動作を制御する、集中コントローラを含むことができる。いくつかの実施形態では、制御システム 34 は、一つ以上のシステム構成要素の動作を制御する、複数の分散コントローラを備えることができる。制御シーケンスは、ハードワイヤードでもよく、または制御システム 34 内にプログラムされてもよい。

#### 【0021】

上述のように、反応器 21 への送達のために固体反応物質源の昇華を制御することは困難でありうる。有益なことに、図 1 の実施形態は、プロセス制御チャンバー 10 に提供される気化された反応物質の濃度またはドーズ量を制御するために、プロセス制御チャンバー 10 における測定された圧力のフィードバック制御を含む。例えば、プロセス制御バルブ 9 は、制御システム 34 によって作動して、プロセス制御チャンバー 10 内の測定された圧力に基づいて閉じたり開いたりすることができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 2 】

図 1 に示すように、装置 1 は、第一の温度で維持される第一の熱ゾーン 1 3、および第二の温度で維持される第二の熱ゾーン 1 4 を含みうる。様々な実施形態では、自然のままの固体反応物質が凝縮するリスクを最小化するために、第二の熱ゾーン 1 4 の第二の温度は、第一の熱ゾーン 1 3 の第一の温度よりも高くてもよい。様々な実施形態では、例えば、第二の温度は、5 ~ 45 の範囲、10 ~ 40 の範囲、または 20 ~ 30 の範囲の温度差で、第一の温度よりも高くてもよい。様々な実施形態では、固体原料容器 2、不活性ガス源 3、不活性ガスバルブ 6、および反応物質ガスバルブ 7 のうちの一つ以上は、第一の熱ゾーン 1 3 内に配置されうる。第一の熱ゾーンは、固体反応物質粒子を気化された反応物質に昇華させるのに十分なほど高い温度に維持することができるが、反応物質の熱分解を引き起こすほどに高い温度ではない。第二の熱ゾーン 1 4 は、第二の熱ゾーン 1 4 内で構成要素を接続する供給ラインと共に、フィルター 8、プロセス制御バルブ 9、プロセス制御チャンバー 10、圧力変換器 12、および反応器供給バルブ 11 のうちの一つ以上を備えることができる。圧力変換器 12 は、例えばプロセス制御チャンバー 10 の内側など、第二の熱ゾーン 1 4 内に配置されうる。

10

## 【 0 0 2 3 】

熱ゾーン 1 3、1 4 が分離されている場合、ゾーン間の供給ライン 5 の部分にヒータージャケットを提供して、第一の熱ゾーン 1 3 の温度以上にラインを維持することができる。加熱された第二の熱ゾーン 1 4 内にフィルター 8 を配置することで、フィルター 8 を通して送達されうる液体小滴または固体微粒子を、捕捉および気化することを有益に向上させることができる。

20

## 【 0 0 2 4 】

図示した実施形態では、プロセス制御バルブ 9、反応器供給バルブ、圧力変換器 12、および / または制御システム 3 4 の電子部品は、高温処理に対応できるように製造される。例えば、プロセス制御バルブ 9 は、オハイオ州、ソロンのスウェーヂロック ( S w a g e l o k ) 社製の A L D または D H シリーズバルブなどの高い応答速度を有する高温ダイヤフラムバルブを備えることができる。同様に、圧力変換器 12 は、静電容量式マノメーター圧力トランスデューサなどの高温対応センサーを含むことができる。制御システム 3 4 の一部の構成要素または配線もまた、高温環境で動作するように構成されうる。

30

## 【 0 0 2 5 】

動作中、圧力変換器 12 はプロセス制御チャンバー 10 の圧力を監視し、測定された圧力を制御システム 3 4 に伝達することができる。バルブ 9 がバイナリー開閉バルブを備える実施形態では、測定された圧力に基づいて、制御システム 3 4 は、制御バルブ 9 に命令を送信してバルブ 9 を開閉することができる。例えば、様々な実施形態では、閉ループ制御システムは、圧力変換器 12 によって測定されるプロセス制御バルブ 9 の圧力のフィードバックに基づいて、バルブ 9 の開口および / または閉鎖 (例えば、バルブタイミング、周波数など) を制御することができる。さまざまな実施形態で、例えば、比例積分微分 ( P I D ) コントローラを使用して、制御バルブ 9 の動作を制御することができる。いくつかの実施形態では、制御システム 3 4 は、P I D または他のコントローラに提供される所望のプロセス制御チャンバー設定点圧力を達成または維持するために、制御バルブ 9 が開いている時間を決定できる。さらに、反応器供給バルブ 11 は、プロセス制御チャンバー 10 の設定点圧力に、例えば、プロセス制御チャンバー 10 内の反応物質蒸気の圧力に、少なくとも部分的に基づいて、反応チャンバー 30 に対して所望のドーズ量の反応物質蒸気を生成するように選択されたパルス時間を有するようにプログラムされうる。反応チャンバー 30 への反応物質蒸気の流量は、プロセス制御チャンバーの圧力 (例えば、圧力設定点とほぼ同じ) および反応器供給バルブ 11 のパルス時間に少なくとも部分的に基づいて決定することができる。固体原料容器 2 で消費される固体原料の量は、流量に基づいて推定できる。さまざまな実施形態では、反応器供給バルブ 11 のパルス時間は、容器 2 の固体原料消費を考慮に入れるように調節されうる。制御システム 3 4 は、反応物質の昇華速度が変化する場合、プロセス制御チャンバー 10 の補充時間を自動的に調整することが

40

50



できる。有益なことに、チャンパー 10 内の測定された圧力に基づいて、反応物質蒸気の計量を介したプロセス制御チャンパー 10 への供給を制御することは、ウエハ収率および堆積の均一性を改善することができる。他の実施形態では、制御システム 34 は、複数の流れコンダクタンス値に沿ってバルブ 9 を通る反応物質蒸気の流量を増加または減少させるように、制御バルブ 9 に命令を送信して、流れコンダクタンスを調節しうる。

#### 【0026】

様々な実施形態による制御システム 34 はまた、経時的な昇華速度の変化を自動的に考慮することもできる。固体前駆体については、昇華速度は、少なくとも部分的に原料容器 2 の幾何学的形状に依存してもよい。例えば、固体材料の塊が容器 2 の一部の領域に配置されてもよく、一方で容器 2 の他の領域では固体材料が空でありうるように、固体前駆体  
10  
が消費されると原料容器 2 の内部容積は変化することができ、固体材料の露出した表面積もまた変化することができる。原料容器 2 の容積および露出した固体前駆体表面積の変化は、昇華速度を変化させることができ、反応器に送達されるガスの反応物質含有量に影響を与える場合がある。有益なことに、制御バルブ 9 に対する設定点圧力は、固体原料の蒸気圧よりも低いレベルに設定でき、また昇華速度の変化を自動的に補正するように選択できる。例えば、昇華速度が減少する場合、バルブ 9 は、より長い期間にわたって開放状態  
20  
でいることにより自動的に補正して、制御圧力設定点に達することができる。有益なことに、それゆえに制御バルブ 9 に対して閉ループフィードバック制御を使用することで、ユーザーが継続的に昇華速度の変化を監視し、補正することなく、昇華速度の変化を自動的に補正できる。

#### 【0027】

したがって、プロセス制御バルブ 9、圧力変換器 12、および制御システム 34 を有するフィードバック回路は、プロセス制御チャンパー 10 の圧力を正確に制御して、固体反応物質源からの気相反応物質の効率的かつ有効な用量の計量または送達を提供できる。高温対応バルブ 9、圧力変換器 12、および / または制御システム 34 の構成要素を利用することにより、システムの全体的なサイズを減少させることもでき、かつ気化された反応物質を反応器 21 に正確に供給するための閉ループフィードバック制御を提供することができる。

#### 【0028】

図 2 は、さまざまな実施形態による、半導体加工方法 40 を示すフローチャートである  
30  
。方法 40 は、ブロック 41 で始まり、その中で固体反応物質（例えば、堆積前駆体）微粒子は昇華プロセスを通して反応物質蒸気に気化される。例えば、固体反応物質の粒子を固体原料容器内に置き、昇華温度より高い温度に加熱することができる。いくつかの実施形態では、反応物質蒸気を反応器に送達するのを助けるために、不活性キャリアガスを提供することができる。他の実施形態では、別個の不活性キャリアガスは使用されない場合がある。様々な実施形態では、固体原料容器は、第一の熱ゾーンの第一の温度を反応物質材料の昇華温度より上に維持するよう構成された一つ以上のヒーターを含む第一の熱ゾーンに配置されてもよい。さまざまな実施形態では、例えば、第一の熱ゾーンのためのより高い温度は、固体前駆体の利用を増加させうる。第一の熱ゾーンの温度は、気化された前駆体の再凝固を防止するように、十分に高く（例えば、昇華温度より高く）されうる。  
40

#### 【0029】

ブロック 42 に移り、反応物質蒸気をプロセス制御チャンパーに移送することができる。例えば、バルブ（反応物質バルブ 7 など）を制御可能に開閉し、反応物質蒸気を原料 2 から反応物質ガスラインに送達することができる。上述のように、様々な実施形態では、反応物質バルブ 7 は開閉バルブを備えることができる。いくつかの実施形態では、固体粒子または小滴を捕捉し、かつ送達された反応物質が気相にあることを確実にする加熱されたフィルターを、反応物質蒸気が通過することができる。プロセス制御チャンパーは、気化された反応物質が反応器の反応チャンパーに送達される前に収集される、中間計量ボリュームとして機能することができる。

#### 【0030】

10

20

30

40

50

ブロック43では、プロセス制御チャンバーの上流に位置するプロセス制御バルブの動作は、制御システムによって制御されうる。様々な実施形態では、例えば、プロセス制御チャンバーの測定された圧力に少なくとも部分的に基づいて、プロセス制御バルブを調整することができる（例えば、シャットオンまたはオフされる、あるいは設定された流れコンダクタンスに調整されることができる）。本明細書で説明するように、プロセス制御チャンバー内の圧力を監視するために圧力変換器を使用することができる。制御システムは、適切な制御方法（PIDコントローラの圧力設定点による閉ループ制御など）を利用して、プロセス制御バルブを介してプロセス制御チャンバーへの反応物質蒸気の進入を制御することができる。様々な実施形態では、プロセス制御チャンバー10、フィルター8、プロセス制御バルブ9、および圧力変換器12のうちの一つ以上は、第一の熱ゾーンと比較してより高い温度に設定されうる第二の熱ゾーン内に配置されうる。

10

**【0031】**

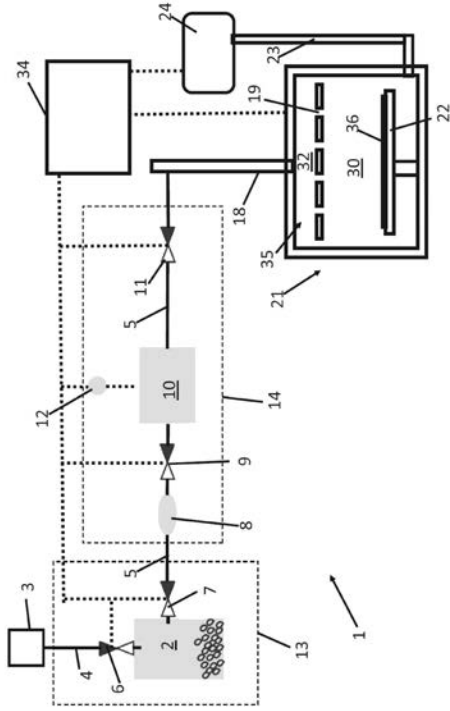
ブロック44に移り、プロセス制御チャンバー内の気化された反応物質を反応器に移送することができる。さまざまな実施形態では、プロセス制御チャンバーの下流の反応器供給バルブを起動して、気化された反応物質を反応チャンバーに供給することができる。様々な実施形態では、例えば、反応器供給バルブは、気化された反応物質を反応器内にパルスするように構成されうる。反応器供給バルブのパルシングは、ハードワイヤードでもよくまたは制御システム内にプログラムされてもよい、堆積のためのプロセスレシピによる制御システムによって制御することができる。

**【0032】**

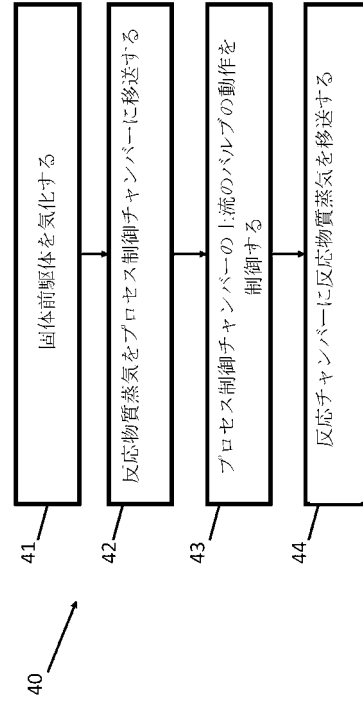
20

明確化および理解の目的のために図示および実施例によって詳細に前述されているが、特定の変更および修正を実施することができることは当業者には明らかである。したがって、説明および実施例は、本発明の範囲を本明細書に記載される特定の実施形態および実施例に限定するものとして解釈されるべきではなく、むしろ開示された実施形態の真の範囲および精神を備えたすべての修正および代替物も包含するものである。さらに、本明細書で上述した特徴、態様および利点のすべてが、本実施形態を実施するために必ずしも必要とされるわけではない。

【図1】



【図2】



## フロントページの続き

(72)発明者 ホワイト カール ルイス  
オランダ国 1 3 2 2 エーピー アルメーレ フェルステルケルシュトラート 8

(72)発明者 スワミネイサン シャンカール  
オランダ国 1 3 2 2 エーピー アルメーレ フェルステルケルシュトラート 8

(72)発明者 ゴープ ブシャン  
オランダ国 1 3 2 2 エーピー アルメーレ フェルステルケルシュトラート 8

Fターム(参考) 4K030 AA11 CA04 CA12 EA01 EA05 EA06 EA11 FA10 GA02 HA01  
JA09 JA10 KA11 KA25 KA41 KA45 LA15  
5F045 AA04 AA15 DP03 EE02 EE04 EE07 EE19 EF05 GB06

【外国語明細書】

2021052182000001.pdf