

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5722595号  
(P5722595)

(45) 発行日 平成27年5月20日 (2015. 5. 20)

(24) 登録日 平成27年4月3日 (2015. 4. 3)

(51) Int. Cl.	F I
<b>H O 1 L 21/31 (2006. 01)</b>	H O 1 L 21/31 B
<b>C 2 3 C 16/44 (2006. 01)</b>	C 2 3 C 16/44 J
<b>C O 1 F 7/02 (2006. 01)</b>	C O 1 F 7/02 A

請求項の数 13 (全 39 頁)

(21) 出願番号	特願2010-253231 (P2010-253231)	(73) 特許権者	000001122
(22) 出願日	平成22年11月11日 (2010. 11. 11)		株式会社日立国際電気
(65) 公開番号	特開2012-104720 (P2012-104720A)		東京都千代田区外神田四丁目14番1号
(43) 公開日	平成24年5月31日 (2012. 5. 31)	(74) 代理人	100145872
審査請求日	平成25年10月31日 (2013. 10. 31)		弁理士 福岡 昌浩
		(74) 代理人	100091362
			弁理士 阿仁屋 節雄
		(74) 代理人	100105256
			弁理士 清野 仁
		(72) 発明者	佐々木 伸也
			富山県富山市八尾町保内二丁目1番地 株
			式会社日立国際電気内
		(72) 発明者	竹林 雄二
			富山県富山市八尾町保内二丁目1番地 株
			式会社日立国際電気内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 基板処理装置および半導体装置の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数枚の基板を水平姿勢に積層した状態で収容する処理室と、  
 前記処理室の外側に設けられ、前記処理室内を加熱する加熱ユニットと、  
 前記処理室の内壁に、径方向外側に突出して設けられたノズル収容部と、  
前記ノズル収容部内に配設され、原料ガスを供給する原料ガス供給ユニットと接続され、前記原料ガス供給ユニットから供給される前記原料ガスを前記処理室内に供給する原料ガスノズルであって、前記処理室内の温度が前記原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても内部で前記原料ガスが分解しないような前記処理室内の所定位置に配設される原料ガスノズルと、

10

前記ノズル収容部内に配設され、反応ガスを供給する反応ガス供給ユニットと接続され、前記反応ガス供給ユニットから供給される前記反応ガスを前記処理室内に供給する反応ガスノズルと、

前記処理室内を実質的に水平方向に排気する排気ユニットと、  
 少なくとも前記加熱ユニット、前記原料ガス供給ユニット、前記排気ユニットを制御して、前記処理室内を加熱しつつ、前記原料ガスおよび前記反応ガスを複数枚の基板が収容された前記処理室内に供給して前記基板上に膜を形成するよう構成される制御部と、  
 を有する基板処理装置。

【請求項2】

前記制御部は、前記原料ガスを第1の流量で前記処理室内の下部に供給する工程と、前

20

記原料ガスを当該第 1 の流量よりも多い第 2 の流量で前記処理室内の上部に供給する工程と、前記処理室内に前記反応ガスを供給する工程と、を含むサイクルを所定回数実施させるように構成されている請求項 1 に記載の基板処理装置。

【請求項 3】

前記制御部は、前記第 1 の流量で前記処理室内の下部に供給する工程と前記第 2 の流量で前記処理室内の上部に供給する工程の後に、前記反応ガスを供給する工程を行うように制御する請求項 2 に記載の基板処理装置。

【請求項 4】

前記制御部は、前記第 1 の流量で前記処理室内の下部に供給する工程を前記第 2 の流量で前記処理室内の上部に供給する工程の前に行うように制御する請求項 2 又は 3 に記載の基板処理装置。

【請求項 5】

前記制御部は、前記第 1 の流量で前記処理室内の下部に供給する工程を前記第 2 の流量で前記処理室内の上部に供給する工程の後に行うように制御する請求項 2 又は 3 に記載の基板処理装置。

【請求項 6】

前記制御部は、前記第 1 の流量で前記処理室内の下部に供給する工程の後に前記反応ガスを供給する工程を行い、当該反応ガスを供給する工程の後に前記第 2 の流量で前記処理室内の上部に供給する工程を行うよう制御する請求項 2 に記載の基板処理装置。

【請求項 7】

前記制御部は、前記第 2 の流量で前記処理室内の上部に供給する工程の後に前記反応ガスを供給する工程を行い、当該反応ガスを供給する工程の後に前記第 1 の流量で前記処理室内の下部に供給する工程を行うように制御する請求項 2 に記載の基板処理装置。

【請求項 8】

複数枚の基板を水平姿勢に積層した状態で収容する処理室と、  
前記処理室の外側に設けられ、前記処理室内を加熱する加熱ユニットと、  
原料ガスを供給する原料ガス供給ユニットと接続され、前記原料ガス供給ユニットから供給される前記原料ガスを前記処理室内に供給する原料ガスノズルであって、前記処理室内の温度が前記原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても内部で前記原料ガスが分解しないような前記処理室内の所定位置に配設される原料ガスノズルと、

反応ガスを供給する反応ガス供給ユニットと接続され、前記反応ガス供給ユニットから供給される前記反応ガスを前記処理室内に供給する反応ガスノズルであって、前記基板の積層方向に延在し、前記反応ガスの上流側から下流側にわたって徐々に開口径が大きくなる複数のガス噴出口を有する反応ガスノズルと、

前記処理室内を実質的に水平方向に排気する排気ユニットと、  
少なくとも前記加熱ユニット、前記原料ガス供給ユニット、前記排気ユニットを制御して、前記処理室内を加熱しつつ、前記原料ガスおよび前記反応ガスを複数枚の基板が収容された前記処理室内に供給して前記基板上に膜を形成するよう構成される制御部と、  
を有する基板処理装置。

【請求項 9】

前記制御部は、前記原料ガスを第 1 の流量で前記処理室内の下部に供給する工程と、前記原料ガスを当該第 1 の流量よりも多い第 2 の流量で前記処理室内の上部に供給する工程と、前記処理室内に前記反応ガスを供給する工程と、を含むサイクルを所定回数実施させるように構成されている請求項 8 に記載の基板処理装置。

【請求項 10】

水平姿勢で積層された複数枚の基板を処理室内に収容する基板搬入工程と、  
前記処理室の外側に設けられた加熱ユニットにより前記処理室内を加熱し、前記処理室内の内壁に径方向外側に突出して設けられたノズル収容部内に配設され、原料ガスを供給する原料ガス供給ユニットと接続され、前記処理室内の温度が原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても内部で前記原料ガスが分解しないような前記処理室内の所定位置に配

10

20

30

40

50

設された原料ガスノズルから前記処理室内に前記原料ガスを供給し、前記ノズル収容部に配設され、反応ガスを供給する反応ガスユニットと接続された反応ガスノズルから前記処理室内に前記反応ガスを供給し、前記処理室内を排気ユニットにより実質的に水平方向に排気することで、前記基板上に膜を形成する工程と、

処理が完了した前記基板を前記処理室から搬出する基板搬出工程と、を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 1 1】

前記基板上に膜を形成する工程では、前記原料ガスを第 1 の流量で前記処理室内の下部に供給する工程と、前記原料ガスを当該第 1 の流量よりも多い第 2 の流量で前記処理室内の上部に供給する工程と、前記処理室内に前記反応ガスを供給する工程と、を含むサイクルを所定回数実施する請求項 1 0 に記載の半導体装置の製造方法。

10

【請求項 1 2】

水平姿勢で積層された複数枚の基板を処理室内に収容する基板搬入工程と、

前記処理室の外側に設けられた加熱ユニットにより前記処理室内を加熱し、原料ガスを供給する原料ガス供給ユニットと接続され、前記処理室内の温度が原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても内部で前記原料ガスが分解しないような前記処理室内の所定位置に配設された原料ガスノズルから前記処理室内に前記原料ガスを供給し、反応ガスを供給する反応ガスユニットに接続され、前記基板の積層方向に沿って前記処理室内に配設された反応ガスノズルから前記処理室内に前記反応ガスを供給し、前記処理室内を実質的に水平方向に排気することで、前記基板上に膜を形成する工程と、

20

処理が完了した前記基板を前記処理室から搬出する基板搬出工程と、を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 1 3】

前記基板上に膜を形成する工程では、前記原料ガスを第 1 の流量で前記処理室内の下部に供給する工程と、前記原料ガスを当該第 1 の流量よりも多い第 2 の流量で前記処理室内の上部に供給する工程と、前記処理室内に前記反応ガスを供給する工程と、を含むサイクルを所定回数実施する請求項 1 2 に記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基板処理装置、半導体装置の製造方法及び半導体装置に関する。

30

【背景技術】

【0002】

A L D ( A t o m i c L a y e r D e p o s i t i o n ) 法では、例えば膜の原料となる原料ガスと、原料ガスと反応する反応ガスと、が処理室内に交互に供給され、1 原子層分の薄膜が順次積層されることにより基板上に所定の膜が形成される。A L D 法により形成される膜としては、例えば、原料ガスとしての T M A ( T r i m e t h y l a l u m i n i u m ) ガスと、反応ガスとしてのオゾン ( O <sub>3</sub> ) ガスと、により形成される酸化アルミニウム膜 ( A l O 膜 ) 等が挙げられる。この酸化アルミニウム膜は、高誘電率膜 ( H i g h - k 膜 ) として機能する。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

T M A ガスとオゾンガスとを用いた A L D 法は、処理室内の温度を 2 0 0 ~ 4 0 0 程度に設定して実施される場合がある。ただし、このような処理温度では、原料ガスや反応ガスを構成する炭素 ( C ) 原子、水素 ( H ) 原子が不純物として膜中に残留することがあり、膜の誘電率が低下したり、リーク電流が増加したりするなど、高誘電率膜としての機能が低下してしまう場合があった。そこで、膜中の不純物を低減させるために、例えば 5 5 0 程度まで処理温度を上昇させて、基板処理が実施されることがあった。

【0004】

50

しかしながら、処理温度を高温にすると、ノズル内が高温高压状態となり、原料ガスがノズル内で熱分解されることがあった。例えば、原料ガスとしてTMAガスを用いた場合、ノズル内では、アルミニウム(Al)原子同士のCVD(Chemical Vapor Deposition)反応による反応生成物が形成されることがあった。あるいは、反応生成物やTMAガスの分解物がノズル内壁に堆積し、ノズルが目詰まりすることがあった。また、このような反応生成物や分解物がノズル内壁から剥がれるなどして生成された異物が処理室内に飛散し、基板に付着することにより基板処理品質の低下を招いてしまうことがあった。

#### 【0005】

本発明は、反応生成物や分解物がノズル内壁に堆積するのを抑えるとともに、異物が処理室内に飛散するのを抑えることが可能な基板処理装置、半導体装置の製造方法を提供することを目的とする。また、このような基板処理装置、半導体装置の製造方法により、異物の混入が少なく高品質な薄膜を備えた半導体装置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】

#### 【0006】

本発明の一態様によれば、複数枚の基板を水平姿勢に積層した状態で収容する処理室と、前記処理室の外側に設けられ、前記処理室内を加熱する加熱ユニットと、原料ガスを供給する原料ガス供給ユニットと、前記原料ガス供給ユニットと接続され、前記原料ガス供給ユニットから供給される前記原料ガスを前記処理室内に供給する原料ガスノズルと、前記処理室内を実質的に水平方向に排気する排気ユニットと、少なくとも前記加熱ユニット、前記原料ガス供給ユニット、前記排気ユニットを制御する制御部と、を有し、前記原料ガスノズルは、前記処理室内の温度が前記原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても内部で前記原料ガスが分解しないような前記処理室内の所定位置に配設され、前記制御部は、異なる流速で互いに混合させないように前記処理室内に前記原料ガスを供給する処理を含むサイクルを所定回数実施させるように構成されている基板処理装置が提供される。

#### 【0007】

また、本発明の他の態様によれば、水平姿勢で積層された複数枚の基板を処理室内に収容する基板搬入工程と、前記処理室内の温度が原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても内部で前記原料ガスが分解しないような前記処理室内の所定位置に配設された原料ガスノズルから、第1の流速で前記処理室内に前記原料ガスを供給する第1の原料ガス供給工程と、前記原料ガスノズルから、前記第1の流速とは異なる第2の流速で前記処理室内に前記原料ガスを供給する第2の原料ガス供給工程と、前記基板の積層方向に沿って前記処理室内に配設された反応ガスノズルから、前記原料ガスと反応する反応ガスを前記処理室内に供給する反応ガス供給工程と、前記処理室内を実質的に水平方向に排気する排気工程と、処理が完了した前記基板を前記処理室から搬出する基板搬出工程と、を有し、前記第1の原料ガス供給工程と、前記第2の原料ガス供給工程と、前記反応ガス供給工程と、を1サイクルとしてこのサイクルを所定回数実施して前記基板上に所定の膜を形成する半導体装置の製造方法が提供される。

#### 【0008】

また、本発明の他の態様によれば、積層された基板を収容する処理室内の温度が原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても内部で前記原料ガスが分解しないような前記処理室内の所定位置に配設された原料ガスノズルから、第1の流速で前記処理室内に前記原料ガスを供給する第1の原料ガス供給工程と、前記原料ガスノズルから前記第1の流速とは異なる第2の流速で前記処理室内に前記原料ガスを供給する第2の原料ガス供給工程と、前記基板の積層方向に沿って前記処理室内に配設された反応ガスノズルから前記原料ガスと反応する反応ガスを前記処理室内に供給する反応ガス供給工程と、を1サイクルとしてこのサイクルを所定回数実施することにより形成される半導体装置が提供される。

#### 【発明の効果】

#### 【0009】

本発明によれば、反応生成物や分解物がノズル内壁に堆積するのを抑えるとともに、異

10

20

30

40

50

物が処理室内に飛散するのを抑えることができる。また、基板への異物の付着を抑え基板処理品質の低下を抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る基板処理装置の概略構成図である。

【図2】本発明の第1の実施形態に係る基板処理装置が備える処理炉の縦断面図である。

【図3】本発明の第1の実施形態に係る基板処理装置が備えるインナチューブの斜視図であり、ガス排気口が穴形状である場合を示している。

【図4】本発明の第1の実施形態に係る基板処理装置が備えるプロセスチューブの横断面図であり、インナチューブにノズル収容部が設けられている場合を示している。

10

【図5】本発明の第1の実施形態に係る基板処理装置が備えるプロセスチューブ内に生成されるガス流を例示する模式図である。

【図6】本発明の第1の実施形態に係る基板処理工程のフローチャート図である。

【図7】ウエハ上に酸化アルミニウム膜が形成される様子を模式的に示す断面図である。

【図8】本発明の第1の実施形態に係るガス供給の様子を模式的に示す図である。

【図9】本発明の第1の実施形態のガス供給に係るタイミングチャート図である。

【図10】本発明の第2の実施形態に係る基板処理工程のフローチャート図である。

【図11】本発明の第2の実施形態に係る原料ガス供給の様子を模式的に示す図であり、(a)原料ガスの流速を第1の流速とした場合、(b)原料ガスの流速を第1の流速より大きな第2の流速とした場合をそれぞれ示す。

20

【図12】本発明の第2の実施形態に係る基板処理工程のフローチャート図である。

【図13】本発明の第2の実施形態に係るTMAガス供給シーケンス、及び処理条件を従来と比較して示す図である。

【図14】本発明の第3の実施形態に係る基板処理工程のフローチャート図である。

【図15】本発明の第3の実施形態のガス供給に係るタイミングチャート図である。

【図16】本発明のその他の実施形態に係る基板処理装置が備えるプロセスチューブの横断面図であり、処理室内にノズル収容部が設けられていない場合を示している。

【図17】従来の基板処理装置の概略、及び内部に反応生成物や分解物が堆積した原料ガスノズルを模式的に示す断面図である。

【図18】本発明の第2の実施形態の実施例と従来例とを対比させながら、ノズル内における分解物の堆積の有無と、酸化アルミニウム膜の膜特性とを示す図である。

30

【図19】内部に分解物が堆積した原料ガスノズルの例を示す説明図である。

【図20】内部に分解物が堆積した原料ガスノズルの例を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

<本発明の第1の実施形態>

(1)基板処理装置の構成

まず、本実施形態に係る基板処理装置101の構成例について、図1及び図5を用いて説明する。

【0012】

40

図1は、本実施形態に係る基板処理装置101の概略構成図である。図5は、本実施形態に係る基板処理装置が備えるプロセスチューブ内に生成されるガス流を例示する模式図である。

【0013】

図1に示すように、本実施形態に係る基板処理装置101は筐体111を備えている。シリコン等からなる基板としてのウエハ200を筐体111内外へ搬送するには、複数のウエハ200を収納するウエハキャリア(基板収納容器)としてのカセット110が使用される。筐体111内側の前方(図中の右側)には、カセットステージ(基板収納容器受渡し台)114が設けられている。カセット110は、図示しない工程内搬送装置によってカセットステージ114上に載置され、また、カセットステージ114上から筐体11

50

1 外へ搬出されるように構成されている。

【 0 0 1 4 】

カセット 1 1 0 は、工程内搬送装置によって、カセット 1 1 0 内のウエハ 2 0 0 が垂直姿勢となり、カセット 1 1 0 のウエハ出し入れ口が上方向を向くように、カセットステージ 1 1 4 上に載置される。カセットステージ 1 1 4 は、カセット 1 1 0 を筐体 1 1 1 の後方に向けて縦方向に 9 0 ° 回転させ、カセット 1 1 0 内のウエハ 2 0 0 を水平姿勢とさせ、カセット 1 1 0 のウエハ出し入れ口を筐体 1 1 1 内の後方に向かせることが可能のように構成されている。

【 0 0 1 5 】

筐体 1 1 1 内の前後方向の略中央部には、カセット棚（基板収納容器載置棚） 1 0 5 が設置されている。カセット棚 1 0 5 には、複数段、複数列にて複数個のカセット 1 1 0 が保管されるように構成されている。カセット棚 1 0 5 には、後述するウエハ移載機構 1 2 5 の搬送対象となるカセット 1 1 0 が収納される移載棚 1 2 3 が設けられている。また、カセットステージ 1 1 4 の上方には、予備カセット棚 1 0 7 が設けられ、予備的にカセット 1 1 0 を保管するように構成されている。

10

【 0 0 1 6 】

カセットステージ 1 1 4 とカセット棚 1 0 5 との間には、カセット搬送装置（基板収納容器搬送装置） 1 1 8 が設けられている。カセット搬送装置 1 1 8 は、カセット 1 1 0 を保持したまま昇降可能なカセットエレベータ（基板収納容器昇降機構） 1 1 8 a と、カセット 1 1 0 を保持したまま水平移動可能な搬送機構としてのカセット搬送機構（基板収納容器搬送機構） 1 1 8 b と、を備えている。これらカセットエレベータ 1 1 8 a とカセット搬送機構 1 1 8 b との連携動作により、カセットステージ 1 1 4、カセット棚 1 0 5、予備カセット棚 1 0 7、移載棚 1 2 3 の間で、カセット 1 1 0 を搬送するように構成されている。

20

【 0 0 1 7 】

カセット棚 1 0 5 の後方には、ウエハ移載機構（基板移載機構） 1 2 5 が設けられている。ウエハ移載機構 1 2 5 は、ウエハ 2 0 0 を水平方向に回転ないし直動可能なウエハ移載装置（基板移載装置） 1 2 5 a と、ウエハ移載装置 1 2 5 a を昇降させるウエハ移載装置エレベータ（基板移載装置昇降機構） 1 2 5 b と、を備えている。なお、ウエハ移載装置 1 2 5 a は、ウエハ 2 0 0 を水平姿勢で保持するツイーザ（基板移載用治具） 1 2 5 c を備えている。これらウエハ移載装置 1 2 5 a とウエハ移載装置エレベータ 1 2 5 b との連携動作により、ウエハ 2 0 0 を移載棚 1 2 3 上のカセット 1 1 0 内からピックアップして後述するポート（基板保持具） 2 1 7 へ装填（チャージング）したり、ウエハ 2 0 0 をポート 2 1 7 から脱装（ディスチャージング）して移載棚 1 2 3 上のカセット 1 1 0 内へ収納したりするように構成されている。

30

【 0 0 1 8 】

筐体 1 1 1 の後部上方には、処理炉 2 0 2 が設けられている。処理炉 2 0 2 の下端には開口（炉口）が設けられ、かかる開口は炉口シャッタ（炉口開閉機構） 1 4 7 により開閉されるように構成されている。なお、処理炉 2 0 2 の構成については後述する。

【 0 0 1 9 】

40

処理炉 2 0 2 の下方には、ポート 2 1 7 を昇降させて処理炉 2 0 2 内外へ搬送する昇降機構としてのポートエレベータ（基板保持具昇降機構） 1 1 5 が設けられている。ポートエレベータ 1 1 5 の昇降台には、連結具としてのアーム 1 2 8 が設けられている。アーム 1 2 8 上には、ポート 2 1 7 を垂直に支持するとともに、ポートエレベータ 1 1 5 によりポート 2 1 7 が上昇したときに処理炉 2 0 2 の下端を気密に閉塞する蓋体としての円盤状のシールキャップ 2 1 9 が水平姿勢で設けられている。

【 0 0 2 0 】

ポート 2 1 7 は複数本の保持部材を備えており、複数枚（例えば、5 0 枚～1 5 0 枚程度）のウエハ 2 0 0 を、水平姿勢で、かつその中心を揃えた状態で垂直方向に整列させて多段に保持するように構成されている。ポート 2 1 7 の詳細な構成については後述する。

50

## 【 0 0 2 1 】

カセット棚 1 0 5 の上方には、供給ファンと防塵フィルタとを備えたクリーンユニット 1 3 4 a が設けられている。クリーンユニット 1 3 4 a は、清浄化した雰囲気であるクリーンエアを筐体 1 1 1 の内部に流通させるように構成されている。

## 【 0 0 2 2 】

また、ウエハ移載装置エレベータ 1 2 5 b およびポートエレベータ 1 1 5 側と反対側である筐体 1 1 1 の左側端部には、クリーンエアを供給するよう供給ファンと防塵フィルタとを備えたクリーンユニット（図示せず）が設置されている。図示しない前記クリーンユニットから吹き出されたクリーンエアは、ウエハ移載装置 1 2 5 a 及びポート 2 1 7 の周囲を流通した後に、図示しない排気装置に吸い込まれて、筐体 1 1 1 の外部に排気されるように構成されている。

10

## 【 0 0 2 3 】

## ( 2 ) 基板処理装置の動作

次に、本実施形態に係る基板処理装置 1 0 1 の動作について説明する。

## 【 0 0 2 4 】

まず、カセット 1 1 0 が、図示しない工程内搬送装置によって、ウエハ 2 0 0 が垂直姿勢となりカセット 1 1 0 のウエハ出し入れ口が上方向を向くように、カセットステージ 1 1 4 上に載置される。その後、カセット 1 1 0 は、カセットステージ 1 1 4 によって、筐体 1 1 1 の後方に向けて縦方向に 9 0 ° 回転させられる。その結果、カセット 1 1 0 内のウエハ 2 0 0 は水平姿勢となり、カセット 1 1 0 のウエハ出し入れ口は筐体 1 1 1 内の後方を向く。

20

## 【 0 0 2 5 】

カセット 1 1 0 は、カセット搬送装置 1 1 8 によって、カセット棚 1 0 5 ないし予備カセット棚 1 0 7 の指定された棚位置へ自動的に搬送されて受け渡されて一時的に保管された後、カセット棚 1 0 5 又は予備カセット棚 1 0 7 から移載棚 1 2 3 に移載されるか、もしくは直接移載棚 1 2 3 に搬送される。

## 【 0 0 2 6 】

カセット 1 1 0 が移載棚 1 2 3 に移載されると、ウエハ 2 0 0 は、ウエハ移載装置 1 2 5 a のツイーザ 1 2 5 c によって、ウエハ出し入れ口を通じてカセット 1 1 0 からピックアップされ、ウエハ移載装置 1 2 5 a とウエハ移載装置エレベータ 1 2 5 b との連続動作によって移載棚 1 2 3 の後方にあるポート 2 1 7 に装填（チャージング）される。ポート 2 1 7 にウエハ 2 0 0 を受け渡したウエハ移載機構 1 2 5 は、カセット 1 1 0 に戻り、次のウエハ 2 0 0 をポート 2 1 7 に装填する。

30

## 【 0 0 2 7 】

予め指定された枚数のウエハ 2 0 0 がポート 2 1 7 に装填されると、炉口シャッタ 1 4 7 によって閉じられていた処理炉 2 0 2 の下端が、炉口シャッタ 1 4 7 によって開放される。続いて、シールキャップ 2 1 9 がポートエレベータ 1 1 5 によって上昇されることにより、ウエハ 2 0 0 群を保持したポート 2 1 7 が処理炉 2 0 2 内へ搬入（ローディング）される。ローディング後は、処理炉 2 0 2 にてウエハ 2 0 0 に任意の処理が実施される。かかる処理については後述する。処理後は、ウエハ 2 0 0 およびカセット 1 1 0 は、上述の手順とは逆の手順で筐体 1 1 1 の外部へ払出される。

40

## 【 0 0 2 8 】

## ( 3 ) 処理炉の構成

続いて、本実施形態に係る処理炉 2 0 2 の構成について、図 2 ～ 図 4 を参照しながら説明する。図 2 は、本実施形態に係る基板処理装置が備える処理炉 2 0 2 の縦断面図である。図 3 は、本実施形態に係る基板処理装置が備えるインナチューブ 2 0 4 の斜視図であり、ガス排気口 2 0 4 a が穴形状である場合を示している。図 4 は、本実施形態に係る基板処理装置が備えるプロセスチューブ 2 0 5 の横断面図であり、インナチューブ 2 0 4 にノズル収容部 2 0 1 a が設けられている場合を示している。

## 【 0 0 2 9 】

50

## (処理室)

本実施形態に係る処理炉202は、反応管としてのプロセスチューブ205と、マニホールド209とを備えている。プロセスチューブ205は、複数枚のウエハ200を水平姿勢に積層した状態で収容する処理室201を内部空間に構成するインナチューブ204と、インナチューブ204を取り囲むアウトチューブ203と、から構成される。インナチューブ204及びアウトチューブ203は、それぞれ例えば石英( $\text{SiO}_2$ )や炭化珪素( $\text{SiC}$ )等の耐熱性を有する非金属材料から構成され、上端が閉塞され、下端が開放された構成となっている。インナチューブ204の側壁の一部は、ウエハ200が積載される方向(鉛直方向)に沿って、インナチューブ204の側壁よりもインナチューブ204の径方向外側(アウトチューブ203の側壁側)に突出している。処理室201のうち、インナチューブ204の径方向外側(アウトチューブ203の側壁側)に突出した空間は、後述の原料ガスノズル233a、反応ガスノズル233bを収容するノズル収容部201aとして構成されている。マニホールド209は、例えばSUS等の金属材料から構成され、上端及び下端が開放された円筒形状となっている。インナチューブ204及びアウトチューブ203は、マニホールド209により下端側から縦向きに支持されている。インナチューブ204、アウトチューブ203、及びマニホールド209は、互いに同心円状に配置されている。マニホールド209の下端(炉口)は、上述したボートエレベータ115が上昇した際に、シールキャップ219により気密に封止されるように構成されている。マニホールド209の下端とシールキャップ219の間には、インナチューブ204内を気密に封止するリングなどの封止部材(図示しない)が設けられている。

## 【0030】

インナチューブ204内(処理室201内)には基板保持具としてのボート217が下方から挿入されるように構成されている。インナチューブ204及びマニホールド209の内径は、ウエハ200を装填したボート217の最大外径よりも大きくなるように構成されている。

## 【0031】

ボート217は、上下で一对の端板217cと、一对の端板217cの間に垂直に架設された複数本(例えば3本)の支柱217aと、を備えている。端板217c及び支柱217aは、石英や炭化珪素等の耐熱性を有する非金属材料から構成されている。各支柱217aには、複数の保持溝217bが、支柱217aの長手方向に沿って等間隔に配列するようにそれぞれ形成されている。各支柱217aは、各支柱217aに形成された保持溝217bが互に対向するようにそれぞれ配置されている。各保持溝217bにウエハ200の外周部を挿入することにより、複数枚のウエハ200が、略水平姿勢で所定の隙間(基板ピッチ間隔)をもって多段に保持されるように構成されている。ボート217は、熱伝導を遮断する断熱キャップ218上に搭載されている。断熱キャップ218は、回転軸255により下方から支持されている。回転軸255は、処理室201内の気密を保持しつつ、シールキャップ219の中心部を貫通するように設けられている。シールキャップ219の下方には、回転軸255を回転させる回転機構267が設けられている。回転機構267により回転軸255を回転させることにより、処理室201内の気密を保持したまま、複数枚のウエハ200を搭載したボート217を回転させることが出来るように構成されている。

## 【0032】

プロセスチューブ205(アウトチューブ203)の外周には、プロセスチューブ205と同心円状に加熱ユニットとしてのヒータ207が設けられている。ヒータ207は円筒形状であり、保持板としてのヒータベース(図示せず)に支持されることにより垂直に据え付けられている。ヒータ207の外周部及び上端には、断熱材207aが設けられている。ヒータ207は、温度センサ(図示せず)により検出された温度情報に基づき、通電量が調整されるように構成されている。

## 【0033】

(ガスノズル)

10

20

30

40

50



ノズル収容部 201a 内には、原料ガスノズル 233a と、反応ガスノズル 233b とが、処理室 201 の周方向に沿ってそれぞれ配設されている。原料ガスノズル 233a 及び反応ガスノズル 233b は、垂直部と水平部とを有する L 字形状にそれぞれ構成されている。原料ガスノズル 233a は、その垂直部が処理室 201 内のウエハ 200 の収容予定領域よりも下方の所定位置に配設されるショートノズルとして構成されている。また、反応ガスノズル 233b は、その垂直部がウエハ 200 の積層方向に沿ってノズル収容部 201a 内に配設（延在）されるロングノズルとして構成されている。原料ガスノズル 233a 及び反応ガスノズル 233b の水平部は、マニホールド 209 の側壁を貫通するようにそれぞれ設けられている。

#### 【0034】

上述したように、原料ガスノズル 233a の垂直部は、処理室 201 内のウエハ 200 の収容予定領域よりも下方の所定位置に配設されるように構成されている。すなわち、原料ガスノズル 233a の垂直部は、処理室 201 内のウエハ 200 の収容予定領域の温度が原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても、内部で原料ガスが分解しないよう、ウエハ 200 の収容予定領域よりも下方のノズル収容部 201a 内の所定位置に配設されている。例えば、原料ガスノズル 233a の垂直部は、処理室 201 内の下部であって、ヒータ 207 が取り囲む空間の下方に配設されている。原料ガスノズル 233a の下流端（上端）には、処理室 201 内の上部に向けて原料ガスを供給するように原料ガス噴出口 248a が開設されている。このように、原料ガスノズル 233a をショートノズルとして構成することで、基板処理時における原料ガスノズル 233a 内部の温度上昇を抑えることができ、原料ガスノズル 233a 内部での原料ガスの熱分解を起し難くすることができる。

#### 【0035】

上述したように、反応ガスノズル 233b の垂直部は、下流端がポート 217 の上端付近まで到達するようノズル収容部 201a の上部まで延びた構成となっている。反応ガスノズル 233b の垂直部側面には、複数の反応ガス噴出口 248b が、ウエハ 200 の積層方向（鉛直方向）に沿って、それぞれのウエハ 200 に対応する位置（高さ位置）に開設されている。また、反応ガス噴出口 248b の開口径は、処理室 201 内の反応ガスの流量分布や速度分布を適正化するように適宜調整することができ、下部から上部にわたって同一としてもよく、下部から上部にわたって徐々に大きくしてもよい。このように、反応ガスノズル 233b を多孔式のロングノズルとして構成することで、ウエハ 200 への反応ガスの供給量をウエハ 200 間で均一化させることが可能となる。なお、反応ガスが熱分解し易い性質を有する場合には、反応ガスノズル 233b を、原料ガスノズル 233a と同様にショートノズルとして構成してもよい。

#### 【0036】

（原料ガス供給ユニット）

マニホールド 209 の側壁から突出した原料ガスノズル 233a の水平部の上流端には、原料ガス供給管 240a の下流端が接続されている。原料ガス供給管 240a の上流端には、液体原料としての液体 TMA を気化して原料ガスとしての TMA ガスを生成する TMA タンク 260 が接続されている。具体的には、原料ガス供給管 240a の上流端は、TMA タンク 260 内であって液体 TMA の液面の上方に配置されている。原料ガス供給管 240a には開閉バルブ 241a が設けられている。開閉バルブ 241a を開けることにより、TMA タンク 260 内にて生成された TMA ガスが、原料ガスノズル 233a を介して処理室 201 内へ供給されるように構成されている。なお、気化された TMA ガスが配管内で再液化されないよう、原料ガス供給管 240a は例えば 40℃ 以上 130℃ 以下に加熱され、マニホールド 209 は例えば 40℃ 以上 150℃ 以下に加熱されるように構成されている。

#### 【0037】

TMA タンク 260 の上流側には、TMA タンク 260 内に不活性ガス等のキャリアガスを供給するキャリアガス供給管 240f の下流端が接続されている。具体的には、キャ

10

20

30

40

50

リアガス供給管 240 f の下流端は、TMA タンク 260 内の液体 TMA 内に浸されている。キャリアガス供給管 240 f の上流端は、アルゴンガス (Ar ガス) 等の不活性ガス (キャリアガス) を供給する図示しないキャリアガス供給源に接続されている。キャリアガス供給管 240 f には、上流から順に、流量コントローラ (MFC) 242 f、開閉バルブ 241 f が設けられている。開閉バルブ 241 f を開けることにより TMA タンク 260 内の液体 TMA 内にキャリアガスが供給され、液体 TMA がバブリングされる。液体 TMA がバブリングされることにより、TMA タンク 260 内に TMA ガスが生成される。開閉バルブ 241 a を開けることにより、TMA タンク 260 内で生成された TMA ガスとキャリアガスとを含む混合ガスが原料ガス供給管 240 a 及び原料ガスノズル 233 a を介して処理室 201 内に供給されるように構成されている。キャリアガスを TMA タンク 260 内に供給することにより、液体 TMA を気化させるとともに、TMA タンク 260 内からの TMA ガスの排出及び処理室 201 内への原料ガスの供給を促すことが可能となる。TMA タンク 260 内へのキャリアガスの供給流量 (すなわち、処理室 201 内へのキャリアガスの供給流量) は、流量コントローラ 242 f によって制御可能なように構成されている。

10

#### 【0038】

主に、原料ガス供給管 240 a、TMA タンク 260、開閉バルブ 241 a、キャリアガス供給管 240 f、図示しないキャリアガス供給源、流量コントローラ 242 f、開閉バルブ 241 f により、原料ガスノズル 233 a を介して処理室 201 内に原料ガスを供給する原料ガス供給ユニットが構成される。

20

#### 【0039】

(反応ガス供給ユニット)

マニホールド 209 の側壁から突出した反応ガスノズル 233 b の水平部の上流端には、反応ガス供給管 240 b の下流端が接続されている。反応ガス供給管 240 b の上流端には、反応ガス (酸化剤) としてのオゾン ( $O_3$ ) ガスを生成するオゾナイザ 270 が接続されている。反応ガス供給管 240 b には、上流側から順に、流量コントローラ (MFC) 242 b、開閉バルブ 241 b が設けられている。オゾナイザ 270 には、酸素ガス供給管 240 e の下流端が接続されている。酸素ガス供給管 240 e の上流端は、酸素 ( $O_2$ ) ガスを供給する図示しない酸素ガス供給源に接続されている。酸素ガス供給管 240 e には開閉バルブ 241 e が設けられている。開閉バルブ 241 e を開けることによりオゾナイザ 270 に酸素ガスが供給され、開閉バルブ 241 b を開けることによりオゾナイザ 270 にて生成されたオゾンガスが反応ガス供給管 240 b を介して処理室 201 内へ供給されるように構成されている。なお、処理室 201 内へのオゾンガスの供給流量は、流量コントローラ 242 b によって制御することが可能なように構成されている。

30

#### 【0040】

主に、反応ガス供給管 240 b、オゾナイザ 270、流量コントローラ (MFC) 242 b、開閉バルブ 241 b、酸素ガス供給管 240 e、図示しない酸素ガス供給源、開閉バルブ 241 e により、反応ガスノズル 233 b を介して処理室 201 内にオゾンガスを供給する反応ガス供給ユニットが構成される。

#### 【0041】

(ベント管)

原料ガス供給管 240 a における TMA タンク 260 と開閉バルブ 241 a との間には、原料ガスベント管 240 i の上流端が接続されている。原料ガスベント管 240 i の下流端は、後述する排気管 231 の下流側 (後述する APC バルブ 231 a と真空ポンプ 231 b との間) に接続されている。原料ガスベント管 240 i には開閉バルブ 241 i が設けられている。開閉バルブ 241 a を閉め、開閉バルブ 241 i を開けることにより、TMA タンク 260 における原料ガスの生成を継続したまま、処理室 201 内への原料ガスの供給を停止することが可能なように構成されている。原料ガスを安定して生成するには所定の時間を要するが、開閉バルブ 241 a、開閉バルブ 241 i の切り替え動作によって、処理室 201 内への原料ガスの供給・停止をごく短時間で切り替えることが可能な

40

50

ように構成されている。

【 0 0 4 2 】

同様に、反応ガス供給管 2 4 0 b におけるオゾナイザ 2 7 0 と流量コントローラ 2 4 2 b との間には、反応ガスベント管 2 4 0 j の上流端が接続されている。反応ガスベント管 2 4 0 j の下流端は、排気管 2 3 1 の下流側（A P C バルブ 2 3 1 a と真空ポンプ 2 3 1 b との間）に接続されている。反応ガスベント管 2 4 0 j には、上流から順に、開閉バルブ 2 4 1 j、オゾン除害装置 2 4 2 j が設けられている。開閉バルブ 2 4 1 b を閉め、開閉バルブ 2 4 1 j を開けることにより、オゾナイザ 2 7 0 によるオゾンガスの生成を継続したまま、処理室 2 0 1 内へのオゾンガスの供給を停止することが可能なように構成されている。オゾンガスを安定して生成するには所定の時間を要するが、開閉バルブ 2 4 1 b、開閉バルブ 2 4 1 j の切り替え動作によって、処理室 2 0 1 内へのオゾンガスの供給・停止をごく短時間で切り替えることが可能なように構成されている。

10

【 0 0 4 3 】

（不活性ガス供給管）

原料ガス供給管 2 4 0 a における開閉バルブ 2 4 1 a の下流側には、第 1 不活性ガス供給管 2 4 0 g の下流端が接続されている。第 1 不活性ガス供給管 2 4 0 g には、上流側から順に、N<sub>2</sub> ガス等の不活性ガスを供給する図示しない不活性ガス供給源、流量コントローラ（M F C）2 4 2 g、開閉バルブ 2 4 1 g が設けられている。同様に、反応ガス供給管 2 4 0 b における開閉バルブ 2 4 1 b の下流側には、第 2 不活性ガス供給管 2 4 0 h の下流端が接続されている。第 2 不活性ガス供給管 2 4 0 h には、上流側から順に、N<sub>2</sub> ガス等の不活性ガスを供給する図示しない不活性ガス供給源、流量コントローラ（M F C）2 4 2 h、開閉バルブ 2 4 1 h が設けられている。

20

【 0 0 4 4 】

第 1 不活性ガス供給管 2 4 0 g 及び第 2 不活性ガス供給管 2 4 0 h から供給される不活性ガスは、原料ガスや反応ガスを希釈する希釈ガス、及び処理室 2 0 1 内をパージするパージガスとしての機能を有する。

【 0 0 4 5 】

例えば、開閉バルブ 2 4 1 i を閉め、開閉バルブ 2 4 1 a 及び開閉バルブ 2 4 1 g を開けることにより、第 1 不活性ガス供給管 2 4 0 g からの不活性ガス（希釈ガス）により希釈しながら、T M A タンク 2 6 0 からの混合ガスを処理室 2 0 1 内に供給することが可能なように構成されている。また、開閉バルブ 2 4 1 b 及び開閉バルブ 2 4 1 h を開けることにより、第 2 不活性ガス供給管 2 4 0 h からの不活性ガス（希釈ガス）により希釈しながら、オゾナイザ 2 7 0 からのオゾンガスを処理室 2 0 1 内に供給することが可能なように構成されている。このように、希釈ガスにより希釈することで、処理室 2 0 1 内へ供給する原料ガスやオゾンガスの濃度を自在に調整することができる。

30

【 0 0 4 6 】

また、開閉バルブ 2 4 1 a を閉めて開閉バルブ 2 4 1 i を開けることにより、T M A タンク 2 6 0 による原料ガスの生成を継続したまま処理室 2 0 1 内への原料ガスの供給を停止すると共に、開閉バルブ 2 4 1 g 及び開閉バルブ 2 4 1 h を開けることにより、第 1 不活性ガス供給管 2 4 0 g 及び第 2 不活性ガス供給管 2 4 0 h からの不活性ガス（パージガス）を処理室 2 0 1 内へ供給することが可能なように構成されている。同様に、開閉バルブ 2 4 1 b を閉めて開閉バルブ 2 4 1 j を開けることにより、オゾナイザ 2 7 0 によるオゾンガスの生成を継続したまま処理室 2 0 1 内へのオゾンガスの供給を停止すると共に、開閉バルブ 2 4 1 g 及び開閉バルブ 2 4 1 h を開けることにより、第 1 不活性ガス供給管 2 4 0 g 及び第 2 不活性ガス供給管 2 4 0 h からの不活性ガス（パージガス）を処理室 2 0 1 内へ供給することが可能なように構成されている。このように、処理室 2 0 1 内へ不活性ガス（パージガス）を供給することにより、処理室 2 0 1 内からの原料ガス、オゾンガス等の排出を促すことができる。

40

【 0 0 4 7 】

（ガス排気部及びガス排気口）

50

インナチューブ 204 の側壁には、ウエハ 200 が積載される方向に沿って、インナチューブ 204 の側壁の一部を構成するガス排気部 204 b が設けられている。ガス排気部 204 b は、処理室 201 内に収容されたウエハ 200 を挟み、ノズル収容部 201 a と対向する位置に設けられている。

【0048】

ガス排気部 204 b にはガス排気口 204 a が開設されている。ガス排気口 204 a は、ウエハ 200 を挟んで反応ガス噴出口 248 b と対向する位置（例えば、反応ガス噴出口 248 b と約 180 度反対側の位置）に開設されている。本実施形態に係るガス排気口 204 a は、穴形状であって、複数枚のウエハ 200 のそれぞれに対応する位置（高さ位置）に開設されている。従って、アウタチューブ 203 とインナチューブ 204 とに挟まれる空間 203 a は、ガス排気口 204 a を介して処理室 201 に連通することとなる。なお、ガス排気口 204 a の穴径は、処理室 201 内のガスの流量分布や速度分布を適正化するように適宜調整することができ、例えば、下部から上部にわたって同一としてもよく、下部から上部にわたって徐々に大きくしてもよい。

【0049】

また、ガス排気部 204 b の下端の高さ位置は、処理室 201 内に搬入されるウエハ 200 のうち最下端のウエハ 200 の高さ位置に対応させることが好ましい。同様に、ガス排気部 204 b の上端の高さ位置は、処理室 201 内に搬入されるウエハ 200 のうち最上端のウエハ 200 の高さ位置に対応させることが好ましい。ウエハ 200 の存在しない領域にまでガス排気部 204 b が設けられていると、ウエハ 200 間を流れるべきガスがウエハ 200 の存在しない領域に流れてしまう場合があるからである。

【0050】

（排気ユニット）

マニホールド 209 の側壁には排気管 231 の上流端が接続されている。排気管 231 には、上流側から順に、圧力検出器としての圧力センサ 245、圧力調整器としての APC (Auto Pressure Controller) バルブ 231 a、真空排気装置としての真空ポンプ 231 b、排気ガス中から有害成分を除去する除害設備 231 c が設けられている。真空ポンプ 231 b を作動させつつ、圧力センサ 245 からの圧力情報に基づいて APC バルブ 231 a の開閉弁の開度を調整することにより、処理室 201 内の圧力を所望の圧力とすることが可能なように構成されている。

【0051】

主に、排気管 231、圧力センサ 245、APC バルブ 231 a、真空ポンプ 231 b、除害設備 231 c により、排気ユニットが構成される。

【0052】

上述したように、アウタチューブ 203 とインナチューブ 204 とに挟まれる空間 203 a は、ガス排気口 204 a を介して処理室 201 内に連通している。そのため、原料ガスノズル 233 a あるいは反応ガスノズル 233 b から処理室 201 内に原料ガス、反応ガスを供給しつつ、排気ユニットによりアウタチューブ 203 とインナチューブ 204 とに挟まれる空間 203 a を排気することにより、原料ガス噴出口 248 a、反応ガス噴出口 248 b からガス排気口 204 a へと向かう実質的に水平方向のガス流 10 が処理室 201 内に生成される。かかる様子を、原料ガスを例にして図 5 に示す。

【0053】

（コントローラ）

制御部としてのコントローラ 280 は、ヒータ 207、圧力センサ 245、APC バルブ 231 a、真空ポンプ 231 b、除害設備 231 c、回転機構 267、ポートエレベータ 115、開閉バルブ 241 a、241 b、241 e、241 f、241 g、241 h、241 i、241 j、流量コントローラ 242 b、242 f、242 g、242 h、TM A タンク 260、オゾナイザ 270、オゾン除害装置 242 j、温度センサ（図示は省略）等にそれぞれ接続されている。コントローラ 280 により、ヒータ 207 の温度調整動作、APC バルブ 231 a の開閉及び圧力調整動作、真空ポンプ 231 b の起動・停止、

回転機構 2 6 7 の回転速度調節、ポートエレベータ 1 1 5 の昇降動作、開閉バルブ 2 4 1 a , 2 4 1 b , 2 4 1 e , 2 4 1 f , 2 4 1 g , 2 4 1 h , 2 4 1 i , 2 4 1 j の開閉動作、流量コントローラ 2 4 2 b , 2 4 2 f , 2 4 2 g , 2 4 2 h の流量調整等の制御が行われる。

#### 【 0 0 5 4 】

##### ( 4 ) 基板処理工程

続いて、本実施形態に係る基板処理工程について、図面を参照しながら説明する。図 6 は、本実施形態に係る基板処理工程のフローチャート図である。図 7 は、ウエハ 2 0 0 上に酸化アルミニウム膜 ( A l O 膜 ) 5 0 0 が形成される様子を模式的に示す断面図である。図 8 は、本実施形態に係るガス供給の様子を模式的に示す図である。図 9 は、本実施形態の基板処理工程に係るガス供給に係るタイミングチャート図である。なお、本実施形態では、原料ガスとして T M A ガスを、反応ガスとしてオゾンガスを用い、 A L D 法によりウエハ 2 0 0 上に所定の膜、すなわち高誘電率膜としての酸化アルミニウム膜 5 0 0 を成膜する方法を例示して説明する。ここで実施される A L D 法は、半導体装置の製造工程の一工程として実施される。なお、以下の説明において、基板処理装置 1 0 1 を構成する各部の動作はコントローラ 2 8 0 により制御される。

#### 【 0 0 5 5 】

本実施形態に係る基板処理工程では、図 6 に示すように、基板搬入工程 S 1 0 、減圧・昇温工程 S 2 0 、酸化アルミニウム膜形成工程 S 3 0 、大気圧復帰工程 S 4 0 、基板搬出工程 S 5 0 を実施する。

#### 【 0 0 5 6 】

##### [ 基板搬入工程 S 1 0 ]

まず、複数枚のウエハ 2 0 0 をポート 2 1 7 に装填 ( ウエハチャージ ) する。そして、複数枚のウエハ 2 0 0 を保持したポート 2 1 7 を、ポートエレベータ 1 1 5 によって持ち上げて処理室 2 0 1 内に収容 ( ポートロード ) する。この状態で、シールキャップ 2 1 9 はリング ( 図示は省略 ) を介してマニホールド 2 0 9 の下端を気密に封止した状態となる。なお、ウエハチャージ、ポートロード時においては、開閉バルブ 2 4 1 g 、開閉バルブ 2 4 1 h を開けて、処理室 2 0 1 内にパージガスを供給し続けることが好ましい。

#### 【 0 0 5 7 】

##### [ 減圧・昇温工程 S 2 0 ]

続いて、開閉バルブ 2 4 1 g 、開閉バルブ 2 4 1 h を閉め、処理室 2 0 1 内が所望の処理圧力 ( 真空度 ) となるように、真空ポンプ 2 3 1 b により排気する。この際、圧力センサ 2 4 5 で測定した圧力情報に基づき、 A P C バルブ 2 3 1 a の開度をフィードバック制御する。また、ウエハ 2 0 0 表面が所望の処理温度となるようにヒータ 2 0 7 への通電量を調整する。この際、温度センサ ( 図示は省略 ) が検出した温度情報に基づき、ヒータ 2 0 7 への通電具合をフィードバック制御する。そして、回転機構 2 6 7 により、ポート 2 1 7 及びウエハ 2 0 0 の回転を開始させる。なお、温度調整、圧力調整、ウエハ 2 0 0 の回転は、後述する酸化アルミニウム膜形成工程 S 3 0 の完了時まで継続する。

#### 【 0 0 5 8 】

なお、圧力・温度安定時の処理室 2 0 1 内の条件としては、例えば、  
処理圧力 : 1 ~ 1 0 0 P a 、好ましくは 4 0 P a 、  
処理温度 : 4 5 0 ~ 6 5 0 、好ましくは 5 5 0  
が例示される。

#### 【 0 0 5 9 】

##### [ 酸化アルミニウム膜形成工程 S 3 0 ]

続いて、ウエハ 2 0 0 上に、所望の厚さの高誘電率膜としての酸化アルミニウム膜 5 0 0 を形成する ( 図 7 を参照 ) 。

#### 【 0 0 6 0 】

##### ( 原料ガス供給工程 S 3 1 )

まず、開閉バルブ 2 4 1 f を開けて T M A タンク 2 6 0 内にキャリアガスとしての A r

10

20

30

40

50

ガスを供給し、TMAタンク260内の液体TMAをバブリングする。これにより、TMAタンク260内にて液体TMAを気化させて原料ガスとしてのTMAガスを生成する。TMAガスが安定して生成されるまでは、開閉バルブ241aが閉じた状態で、開閉バルブ241iを開けて、TMAガスとArガスとの混合ガスを原料ガスベント管240iから排出しておく。なお、TMAガスの生成は、上述の減圧・昇温工程S20と並行して実施することとし（予備気化）、減圧・昇温工程S20の完了時にはTMAガスの生成量を安定させておくことが好ましい。

#### 【0061】

TMAガスが安定して生成されるようになったら、開閉バルブ241iを閉め、開閉バルブ241aを開けて、TMAガスとArガスとの混合ガスの、原料ガスノズル233aを介した処理室201内への供給を開始する。その際、開閉バルブ241gを開け、第1不活性ガス供給管240gからN<sub>2</sub>ガス（希釈ガス）を供給し、処理室201内でTMAガスを希釈するようにしてもよい。また、第1不活性ガス供給管240gから供給されるN<sub>2</sub>ガスにより混合ガスを押し出し、処理室201内への混合ガスの供給を促すようにしてもよい（N<sub>2</sub>プッシュ）。

#### 【0062】

原料ガスノズル233aから処理室201内に供給された混合ガスは、図8に示すように、ポート217の下端側のウエハ200から上端側のウエハ200にそれぞれ供給される。そして、処理室201内に供給された混合ガスは、図5に示すように、各ウエハ200上をそれぞれ通過してガス排気口204aへと向かう実質的に水平方向のガス流10となり、ガス排気口204aを介して排気管231から排気される。その際、積層された各ウエハ200に供給されたTMAガスは、各ウエハ200の表面、あるいはウエハ200上にすでに吸着しているTMA分子の吸着層等の表面と化学吸着（表面反応）を起こして、ウエハ200上にTMA分子の吸着層またはA1層を形成する。さらに、各ウエハ200に供給されたTMAガスは、その一部が熱分解することでALD反応のみならずCVD反応を生じさせ、ウエハ200上にアルミニウム原子同士の結合（A1-A1結合）を含むA1層を形成する。ここで、TMA分子の吸着層とは、TMA分子の連続的な吸着層の他、不連続な吸着層、及び不連続な層が重なって出来る連続的な層をも含む。また、A1層とは、A1により構成される連続的な層の他、不連続な層、及び不連続な層が重なって出来る連続的な層をも含む。なお、A1はそれ単独で固体となる元素である。以下、ウエハ200上に形成されるTMA分子の吸着層及びA1層を、A1含有層500aとも呼ぶ。図7（b）に、各ウエハ200上にA1含有層500aがそれぞれ形成された様子を示す。

#### 【0063】

混合ガスの供給を所定時間継続した後、開閉バルブ241aを閉め、開閉バルブ241iを開けて、TMAガスの生成を継続したまま処理室201内へのTMAガスの供給を停止する。なお、開閉バルブ241fは開けたままとし、TMAタンク260内へのArガスの供給は継続する。

#### 【0064】

（排気工程S32）

続いて、開閉バルブ241a、241bを閉めた状態で、開閉バルブ241g及び開閉バルブ241hを開けてN<sub>2</sub>ガス（パージガス）を供給して処理室201内をパージしつつ、処理室201内を排気することにより、処理室201内に残留するTMAガス（残留ガス）等を除去する。所定時間が経過して処理室201内の雰囲気ガスがN<sub>2</sub>ガスに置換（パージ）されたら、開閉バルブ241g及び開閉バルブ241hを閉めて処理室201内へのN<sub>2</sub>ガスの供給を停止する。排気工程S32を実施することにより、図9に示すように、原料ガス供給工程S31で供給したTMAガスと、後述の反応ガス供給工程S33で供給するオゾンガスとを、互いに混合させないようにできる。なお、パージは所定回数繰り返すようにしてもよい（サイクルパージ）。この場合、処理室201内に残留するTMAガス等をより確実に除去することができる。

## 【 0 0 6 5 】

( 反応ガス供給工程 S 3 3 )

続いて、処理室 2 0 1 内に反応ガスとしてのオゾンガスを供給し、ウエハ 2 0 0 上の A 1 含有層 5 0 0 a を酸化させる。まず、開閉バルブ 2 4 1 e を開けてオゾナイザ 2 7 0 に酸素ガスを供給し、反応ガスとしてのオゾンガス（酸化剤）を生成する。オゾンガスが安定して生成されるまでは、開閉バルブ 2 4 1 b を閉めた状態で、開閉バルブ 2 4 1 j を開けて、オゾンガスを反応ガスベント管 2 4 0 j から排出しておく。なお、オゾンガスの生成は、上述の減圧・昇温工程 S 2 0 と並行して実施することとし、減圧・昇温工程 S 2 0 の完了時にはオゾンガスの生成量を安定させておくことが好ましい。

## 【 0 0 6 6 】

10

オゾンガスが安定して生成されるようになったら、開閉バルブ 2 4 1 j を閉め、開閉バルブ 2 4 1 b を開けて、反応ガスノズル 2 3 3 b を介した処理室 2 0 1 内へのオゾンガスの供給を開始する。この際、開閉バルブ 2 4 1 g を開け、第 2 不活性ガス供給管 2 4 0 h から  $N_2$  ガス（希釈ガス）を供給し、反応ガスノズル 2 3 3 b 内でオゾンガスを希釈するようにしてもよい。また、第 2 不活性ガス供給管 2 4 0 h から供給される  $N_2$  ガスによりオゾンガスを押し出し、処理室 2 0 1 内へのオゾンガスの供給を促すようにしてもよい（ $N_2$  プッシュ）。

## 【 0 0 6 7 】

反応ガスノズル 2 3 3 b から処理室 2 0 1 内に供給されたオゾンガスは、図 5 に示す原料ガスと同様に、反応ガス噴出口 2 4 8 b からガス排気口 2 0 4 a へと向かう水平方向のガス流 1 0 となり、排気管 2 3 1 から排気される。その際、積層された各ウエハ 2 0 0 に供給されたオゾンガスは、各ウエハ 2 0 0 上の A 1 含有層 5 0 0 a に接触してこれらをそれぞれ酸化させる。図 7（c）に、各ウエハ 2 0 0 上に酸化アルミニウム層 5 0 0 b がそれぞれ形成された様子を示す。

20

## 【 0 0 6 8 】

オゾンガスの供給を所定時間継続した後、開閉バルブ 2 4 1 b を閉め、開閉バルブ 2 4 1 j を開けて、オゾンガスの生成を継続したまま処理室 2 0 1 内へのオゾンガスの供給を停止する。

## 【 0 0 6 9 】

( 排気工程 S 3 4 )

30

続いて、排気工程 S 3 2 と同様の手順及び処理条件により、処理室 2 0 1 内に残留するオゾンガス（残留ガス）等を除去する。排気工程 S 3 4 を実施することにより、図 9 に示すように、反応ガス供給工程 S 3 3 で供給したオゾンガスと、次のサイクルの原料ガス供給工程 S 3 1 で供給する TMA ガスとを、互いに混合させないようにできる。

## 【 0 0 7 0 】

以後、原料ガス供給工程 S 3 1 ～排気工程 S 3 4 を 1 サイクルとして、このサイクルを所定回数実施して酸化アルミニウム層 5 0 0 b を積層させることにより、ウエハ 2 0 0 上に所望の厚さの酸化アルミニウム膜 5 0 0 を形成する（図 7（d））。サイクルの実施回数を調整することで、酸化アルミニウム膜 5 0 0 の膜厚を制御できる。なお、各工程の処理条件としては、例えば以下に示すような条件とすることができる。

40

## 【 0 0 7 1 】

&lt; 原料ガス供給工程 S 3 1 の処理条件 &gt;

処理圧力：5 0 ～ 1 5 0 P a、好ましくは 1 0 0 P a、

キャリアガス（Ar ガス）の流量：0 . 1 ～ 2 s l m、好ましくは 0 . 5 s l m、

処理温度：4 5 0 ～ 6 5 0、好ましくは 5 5 0、

実施時間：5 ～ 2 0 秒、好ましくは 1 0 秒

希釈ガス（ $N_2$  ガス）の流量：1 0 ～ 2 0 s l m、好ましくは 1 7 s l m

## 【 0 0 7 2 】

&lt; 反応ガス供給工程 S 3 3 の処理条件 &gt;

処理圧力：5 0 ～ 2 0 0 P a、好ましくは 7 0 P a、

50

反応ガス（オゾンガス）の流量：3～20slm、好ましくは6slm、  
希釈ガス（N<sub>2</sub>ガス）の流量：0～2slm、好ましくは0.5slm、  
処理温度：450～650、好ましくは550、  
実施時間：10～60秒、好ましくは20秒

【0073】

<排気工程S32, S34の処理条件>

処理圧力：50～200Pa、好ましくは100Pa、

パージガス（N<sub>2</sub>ガス）の流量（第1不活性ガス供給管）：1～10slm、好ましくは5slm、

パージガス（N<sub>2</sub>ガス）の流量（第2不活性ガス供給管）：1～10slm、好ましくは5slm、

処理温度：450～650、好ましくは550、

実施時間：5～60秒、好ましくは10秒

【0074】

[大気圧復帰工程S40]

ウエハ200上に所望の厚さの酸化アルミニウム膜500を形成した後、APCバルブ231aの弁の開度を小さくし、開閉バルブ241g、開閉バルブ241hを開けて、プロセスチューブ205内（処理室201内及びアウトチューブ203内）の圧力が大気圧になるまで処理室201内にN<sub>2</sub>ガス（パージガス）を供給する。

【0075】

[基板搬出工程S50]

そして、基板搬入工程S10と逆の手順で、処理室201内からポート217を搬出し（ポートアンロード）、成膜済のウエハ200をポート217から脱装する（ウエハディスチャージ）。なお、ポートアンロード、ウエハディスチャージ時においては、開閉バルブ241g、開閉バルブ241hを開けて、処理室201内にパージガスを供給し続けることが好ましい。

【0076】

その後、酸化アルミニウム膜500が形成されたウエハ200に対して、例えば、配線や電極等の導電膜を形成する工程、その他の絶縁膜を形成する工程、熱処理工程等を順次実施し、酸化アルミニウム膜500を有する半導体装置をする。

【0077】

(5) 本実施形態に係る効果

本実施形態によれば、以下に示す1つ又は複数の効果を奏する。

【0078】

(a) 本実施形態に係る原料ガスノズル233aの垂直部は、処理室201内のウエハ200の收容予定領域よりも下方の所定位置に配設されるように構成されている。この構成によれば、処理温度を上昇させても原料ガスノズル233a内部の温度上昇が抑えられるので、原料ガスノズル233a内部でのTMAガスの熱分解が抑えられる。これにより、原料ガスノズル233a内でのアルミニウム原子同士のCVD反応が抑えられる。また、原料ガスノズル233aの内壁への反応生成物やTMAガスの分解物の堆積を抑え、原料ガスノズル233aの目詰まりを抑えることができる。

【0079】

(b) また、本実施形態によれば、原料ガスノズル233aに反応生成物や分解物が堆積し難く、TMAガスの流路が狭められ難くなるので、安定した流量及び流速で処理室201内にTMAガスを供給することができる。

【0080】

(c) また、本実施形態によれば、処理温度を高くして基板処理を行うことが可能であるので、TMAガスを構成する炭素原子や水素原子等が酸化アルミニウム膜500中に残留してしまうことを抑制でき、酸化アルミニウム膜500中の不純物量を低減させることができる。これにより、不純物に起因する誘電率の低下が抑えられ、リーク電流が低減さ

10

20

30

40

50



れる等、高誘電率膜としての機能を向上させることができる。

【0081】

(d) また、本実施形態のように原料ガスノズル233aに分解物が堆積しにくい場合には、原料ガスノズル233aのクリーニング周期を長くすることができる。これにより、メンテナンスにより基板処理装置101を停止させる期間が短縮されるので、基板処理装置101を効率的に稼働させることができ、生産性を向上させることができる。また、分解物が堆積すると、原料ガスノズル233aと分解物との熱応力の差により原料ガスノズル233aが破損する場合があるが、本実施形態によれば、このような原料ガスノズル233aの破損が起こりにくくなる。

【0082】

ここで、本実施形態の基板処理装置101と比較するために、従来の基板処理装置の原料ガスノズルの構成について簡単に説明する。図17は、従来の基板処理装置の概略、及び内部に分解物950が堆積した原料ガスノズル933aを模式的に示す断面図である。図19、図20は、内部に分解物950が堆積した原料ガスノズル933aの例を示す説明図である。図17に示すように、従来の基板処理装置では、複数の原料ガス噴出口948aを備えた原料ガスノズル933aがポート917の上端付近まで延びる構成となっていた。また、原料ガスノズル933aの垂直部は、処理室901内のヒータ(図示せず)が取り囲む空間内に設置されていた。そのため、基板処理時には、原料ガスノズル933a内部の温度がTMAガスの熱分解温度以上に上昇してしまい、処理室901内に供給される前にTMAガスが熱分解されてしまう場合があった。そして、図17に示すように、原料ガスノズル933aの内壁にTMAガスから生成された分解物950が堆積してしまうことがあった。内部に分解物950が堆積した原料ガスノズル933aの具体例を、図19(a)、図19(b)、図20(a)、図20(b)にそれぞれ示す。また、原料ガスノズル933a内で原料ガスが熱分解しないように基板処理を低下させると、形成される薄膜中に原料ガス分子に含まれる炭素原子や水素原子等が残留してしまい、薄膜中の不純物量が増加してしまう場合があった。本実施形態によれば、原料ガスノズル233aをショートノズルとして構成し、処理温度を比較的高くしているため、これらの課題を解決できる。

【0083】

<本発明の第2の実施形態>

第1の実施形態では、原料ガスノズル233aを、反応ガスノズル233bのような多孔式のロングノズルとして構成せず、その垂直部がウエハ200の収容予定領域よりも下方に配置されるショートノズルとして構成していた。しかしながら、原料ガスノズル233aをショートノズルとして構成すると、原料ガスノズル233a内部での原料ガスの熱分解を抑えることはできるものの、TMAガスの供給量が処理室201内で(ウエハ200間で)局所的にばらついてしまう場合があった。例えば、ウエハ200に対するサイクル毎のTMAガスの供給量が、処理室201内の上部側のウエハ200では多くなり、下部側のウエハ200では少なくなってしまう等の場合があった。その結果、ウエハ200上に形成される酸化アルミニウム膜500の膜厚が、ウエハ200間でばらついてしまうことがあった。

【0084】

ウエハ200間での膜厚のばらつきは、特に、酸化アルミニウム膜500中の不純物量を低減させようとして処理温度を上昇させると増大する傾向があった。これは、処理温度を上昇させると、処理室201内ではALD反応のみならずCVD反応も生じることに一要因があるものと考えられる。上述したように、処理温度を上昇させると、各ウエハ200に供給されたTMAガスは、その一部が熱分解することでALD反応のみならずCVD反応を生じさせ、ウエハ200上にはアルミニウム原子同士の結合を含むA1層が形成される。このCVD反応により形成されるA1層の厚さは、ガス分子の吸着が飽和することによってセルフリミットがかかるALD反応の場合と異なり、TMAガスの供給量に大きく依存する。このため、TMAガスの供給量が処理室201内で局所的にばらついてしま

10

20

30

40

50

うと、A1含有層500aの厚さ、すなわち酸化アルミニウム膜500の膜厚も伴ってばらついてしまうのである。

#### 【0085】

そこで、本実施形態では、異なる流速でTMAガスを供給する工程を同一サイクル内で複数設けることにより、原料ガスノズル233aをショートノズルとして構成した場合であっても、処理室201内(ウエハ200間)におけるTMAガスの供給量の局所的なばらつきを低減させるようにしている。具体的には、第1の流速での処理室201内へのTMAの供給処理と、第1の流速とは異なる第2の流速での処理室201内へのTMAガスの供給処理と、を順次行うことで、ウエハ200間におけるTMAガスの供給量の局所的なばらつきを低減させることとしている。例えば、第1の流速で主に処理室201内の下部側のウエハ200にTMAガスを局所的に供給する工程と、第1の流速より大きな第2の流速で主に処理室201内の上部側のウエハ200にTMAガスを局所的に供給する工程とを、サイクル内で順次実施するようにすれば、1サイクル全体で見たときのTMAガス供給量をウエハ200間でより均一化することができる。すなわち、本実施形態では、1回の原料ガス供給工程で全てのウエハ200に対しTMAガスを均等に供給しようとするのではなく、1回の原料ガス供給工程では意図的に一部のウエハ200にのみTMAガスが局所的に供給されるようにしつつ、その後、流速を異ならせることでTMAガスが主に供給される場所を切り替えるようにしながら、サイクル毎に複数の原料ガス供給工程を順次実施することで、TMAガスの供給量の局所的なばらつきを低減させるようにしている。

10

20

#### 【0086】

以下に、本実施形態について説明する。なお、以下では、第1の実施形態と重複する内容を適宜省略しながら説明する。

#### 【0087】

##### (1) 処理炉の構成

本実施形態に係るコントローラ280は、異なる流速で互いに混合させないように処理室201内に原料ガスを供給する処理を含むサイクルを所定回数実施させるように構成されている。例えば、コントローラ280は、第1の流速で主に処理室201内の下部側のウエハ200にTMAガスを供給する処理と、第1の流速よりも大きい第2の流速で主に処理室201内の上部側のウエハ200にTMAガスを供給する処理と、を含むサイクルを所定回数実施させるように構成されている。

30

#### 【0088】

TMAガスの流速を第1の流速と第2の流速とで切り替えるには、例えば、原料ガスとしてのTMAガス、キャリアガスとしてのArガスの流量をそれぞれ一定にしつつ、第1不活性ガス供給管240gから供給されるN<sub>2</sub>ガスの流量を変更すればよい。具体的には、第1不活性ガス供給管240gから供給されるN<sub>2</sub>ガスの流量を多くすることで、TMAガスの流量を変更することなく、流速を増大させることができる。また、第1不活性ガス供給管240gから供給されるN<sub>2</sub>ガスの流量を少なくすることで、TMAガスの流量を変更することなく、流速を減少させることができる。このように、本実施形態では、第1不活性ガス供給管240gから供給される不活性ガスは、上述の希釈ガス及びパージガスとしての機能に加え、処理室201内に供給されるTMAガスの流速を異ならせる流速調整ガスとしての機能も有する。

40

#### 【0089】

##### (2) 基板処理工程

図10は、本実施形態に係る基板処理工程のフローチャート図である。図11は、本実施形態に係る原料ガス供給の様子を模式的に示す図であり、(a)原料ガスの流速を第1の流速とした場合、(b)原料ガスの流速を第1の流速より大きな第2の流速とした場合をそれぞれ示す。図12は、本実施形態のガス供給に係るタイミングチャート図である。これらの図面を参照しつつ、本実施形態に係る基板処理工程について説明する。図13は、本実施形態に係るTMAガス供給シーケンス、及び処理条件を従来と比較して示す図で

50

ある。

【 0 0 9 0 】

本実施形態の基板処理工程では、図 1 0 に示すように、基板搬入工程 S 1 0、減圧・昇温工程 S 2 0、酸化アルミニウム膜形成工程 S 1 3 0、大気圧復帰工程 S 4 0、基板搬出工程 S 5 0 を実施する。なお、酸化アルミニウム膜形成工程 S 1 3 0 以外の工程は、第 1 の実施形態と同様の処理手順及び処理条件で行うので、ここでは詳細な説明を省略する。

【 0 0 9 1 】

[ 酸化アルミニウム膜形成工程 S 1 3 0 ]

本実施形態では、以下に示す第 1 の原料ガス供給工程 S 1 3 1 ~ 排気工程 S 1 3 6 を 1 サイクルとして、このサイクルを所定回数実施することにより、ウエハ 2 0 0 上に所望の厚さの酸化アルミニウム膜 5 0 0 を形成する。なお、ここでは、減圧・昇温工程 S 2 0 の完了時には T M A タンク 2 6 0 から T M A ガスが安定して生成され、オゾナイザ 2 7 0 からオゾンガスが安定して生成されているものとする。

【 0 0 9 2 】

( 第 1 の原料ガス供給工程 S 1 3 1 )

第 1 の原料ガス供給工程 S 1 3 1 では、第 1 の実施形態に係る原料ガス供給工程 S 3 1 とほぼ同様の処理手順により処理室 2 0 1 内に T M A ガスを供給する。このとき、例えば、図 1 1 ( a ) に示すように、主に処理室 2 0 1 内の下部側のウエハ 2 0 0 に T M A ガスが供給されるよう、T M A ガスの流速を比較的小さな第 1 の流速に調整する。具体的には、第 1 不活性ガス供給管 2 4 0 g から供給される N<sub>2</sub> ガス ( 流量調整ガス ) の流量を少なくして、T M A ガスの流速を第 1 の流速に調整する。

【 0 0 9 3 】

原料ガスノズル 2 3 3 a から供給された T M A ガスは、原料ガス噴出口 2 4 8 a からガス排気口 2 0 4 a へと向かいつつ、主に処理室 2 0 1 内の下部側のウエハ 2 0 0 上で実質的に水平方向のガス流となる。ウエハ 2 0 0 を通過した T M A ガスは、その後、排気管 2 3 1 から排気される。各ウエハ 2 0 0 に供給された T M A ガスは、各ウエハ 2 0 0 の表面、あるいはウエハ 2 0 0 上にすでに吸着している T M A 分子の吸着層等の表面と化学吸着 ( 表面反応 ) を起こす。その結果、主に処理室 2 0 1 内の下部側のウエハ 2 0 0 上に、図 7 ( b ) に示す A 1 含有層 5 0 0 a が形成される。

【 0 0 9 4 】

( 排気工程 S 1 3 2 )

続いて、排気工程 S 1 3 2 では、第 1 の実施形態に係る排気工程 S 3 2 とほぼ同様の処理手順及び処理条件により処理室 2 0 1 内をパージする。排気工程 S 1 3 2 を行うことにより、図 1 2 ( a ) に示すように、第 1 の原料ガス供給工程 S 1 3 1 で供給した T M A ガスと、後述の第 2 の原料ガス供給工程 S 1 3 3 で供給する T M A ガスとが、互いに混合しないようにしている。

【 0 0 9 5 】

( 第 2 の原料ガス供給工程 S 1 3 3 )

続いて、第 1 の実施形態に係る原料ガス供給工程 S 3 1 とほぼ同様の処理手順により処理室 2 0 1 内に T M A ガスを供給する。このとき、例えば、図 1 1 ( b ) に示すように、主に処理室 2 0 1 内の下部側のウエハ 2 0 0 に T M A ガスが供給されるよう、T M A ガスの流速を第 1 の流速よりも大きな第 2 の流速に調整する。具体的には、第 1 不活性ガス供給管 2 4 0 g から供給される N<sub>2</sub> ガスの流量 ( 流量調整ガス ) を多くして、T M A ガスの流量を工程 S 1 3 1 から変更することなく、T M A ガスの流速を第 2 の流量に切り替える。

【 0 0 9 6 】

原料ガスノズル 2 3 3 a から供給された T M A ガスは、原料ガス噴出口 2 4 8 a からガス排気口 2 0 4 a へと向かいつつ、主に処理室 2 0 1 内の上部のウエハ 2 0 0 上で実質的に水平方向のガス流となる。ウエハ 2 0 0 を通過した T M A ガスは、その後、排気管 2 3 1 から排気される。各ウエハ 2 0 0 に供給された T M A ガスは、各ウエハ 2 0 0 の表面、

あるいはウエハ 200 上にすでに吸着している TMA 分子の吸着層等の表面と化学吸着（表面反応）を起こす。その結果、主に処理室 201 内の上部側のウエハ 200 上に、図 7（b）に示す Al 含有層 500 a が形成される。この際、TMA ガスの流量は工程 S131 と工程 S133 とで変更されていないため、ウエハ 200 への TMA ガスの供給量は、工程 S131 と工程 S133 とで均等となる。そのため、工程 S131 及び工程 S133 の処理時間を揃えることで、ウエハ 200 上に形成される Al 含有層 500 a の厚さを、ウエハ 200 間で容易に均一化することができる。

#### 【0097】

（排気工程 S134）

続いて、排気工程 S134 では、第 1 の実施形態に係る排気工程 S32 とほぼ同様の処理手順及び処理条件により処理室 201 内をパージする。排気工程 S134 を行うことにより、図 11（a）に示すように、第 2 の原料ガス供給工程 S133 で供給した TMA ガスと、後述の反応ガス供給工程 S135 で供給するオゾンガスとが、互いに混合しないようにしている。

10

#### 【0098】

（反応ガス供給工程 S135）

続いて、反応ガス供給工程 S135 では、第 1 の実施形態に係る反応ガス供給工程 S33 とほぼ同様の処理手順及び処理条件により処理室 201 内にオゾンガスを供給する。反応ガスノズル 233 b から処理室 201 内に供給されたオゾンガスは、図 5 に示す原料ガスと同様に反応ガス噴出口 248 b からガス排気口 204 a へと向かう水平方向のガス流 10 となり、排気管 231 から排気される。その際、積層された各ウエハ 200 にオゾンガスが供給され、オゾンガスは、各ウエハ 200 上の Al 含有層 500 a を酸化させ、酸化アルミニウム層 500 b が形成される（図 7（c））。なお、反応ガスノズル 233 b は、上述のように多孔式のロングノズルとして構成されているため、ウエハ 200 へのオゾンガスの供給量はウエハ 200 間で均等となる。

20

#### 【0099】

（排気工程 S136）

続いて、排気工程 S136 では、第 1 の実施形態に係る排気工程 S34 と同様の処理手順及び処理条件により処理室 201 内をパージする。排気工程 S136 を行うことにより、図 11（a）に示すように反応ガス供給工程 S135 で供給されたオゾンガスと、次のサイクルの第 1 の原料ガス供給工程 S131 で供給される TMA ガスとが、互いに混合しないようにしている。

30

#### 【0100】

以後、第 1 の原料ガス供給工程 S131 ～排気工程 S136 を 1 サイクルとして、このサイクルを所定回数実施することによりウエハ 200 上に所望の厚さの酸化アルミニウム膜 500（図 7（d））を形成する。なお、各工程の処理条件としては、例えば以下に示すような条件とすることができる。

#### 【0101】

< 第 1 の原料ガス供給工程 S131 の処理条件 >

処理圧力：20 ～ 100 Pa、好ましくは 50 Pa、  
 キャリアガス（Ar ガス）の流量：0.1 ～ 2 slm、好ましくは 0.5 slm、  
 流量調整ガス（N<sub>2</sub> ガス）の流量：1 ～ 5 slm、好ましくは 3 slm、  
 処理温度：450 ～ 650 、好ましくは 550 、  
 実施時間：2 ～ 10 秒、好ましくは 5 秒

40

#### 【0102】

< 第 2 の原料ガス供給工程 S133 の処理条件 >

処理圧力：50 ～ 200 Pa、好ましくは 120 Pa、  
 キャリアガス（Ar ガス）の流量：0.1 ～ 2 slm、好ましくは 0.5 slm、  
 流量調整ガス（N<sub>2</sub> ガス）の流量：10 ～ 30 slm、好ましくは 20 slm、  
 処理温度：450 ～ 650 、好ましくは 550 、

50

実施時間：2～10秒、好ましくは5秒

【0103】

<反応ガス供給工程S135の処理条件>

処理圧力：50～200Pa、好ましくは70Pa、

反応ガス（オゾンガス）の流量：3～20slm、好ましくは6slm、

希釈ガス（N<sub>2</sub>ガス）の流量：0～2slm、好ましくは0.5slm、

処理温度：450～650℃、好ましくは550℃、

実施時間：10～60秒、好ましくは20秒

【0104】

<排気工程S132，S134，S136の処理条件>

処理圧力：50～200Pa、好ましくは100Pa、

流量調整ガス（N<sub>2</sub>ガス）の流量（第1不活性ガス供給管）：1～10slm、好ましくは5slm、

流量調整ガス（N<sub>2</sub>ガス）の流量（第2不活性ガス供給管）：1～10slm、好ましくは5slm、

処理温度：450～650℃、好ましくは550℃、

実施時間：5～60秒、好ましくは10秒

【0105】

なお、上述の実施形態では、第1の流速でTMAガスを供給した後、第1の流速よりも大きい第2の流速でTMAガスを供給しているが、本実施形態はこのような場合に限定されない。例えば、図12（b）に示すように、第2の流速で主に処理室201内の上部側のウエハ200にTMAガスを供給した後、第2の流速よりも小さな第1の流速で主に処理室201内の下部側のウエハ200にTMAガスを供給するようにしてもよい。

【0106】

また、上述の実施形態では、TMAガスの流速を第1の流速、第2の流速の2段階で切り替えながら処理室201内の2つの領域にTMAガスを順次供給しているが、本実施形態はこのような場合に限定されない。例えば、TMAガスの流速を3段階以上で切り替えながら、処理室201内の3つ以上の領域にTMAガスを順次供給するようにしてもよい。流速の段階を増やすことで、1サイクル全体で見たときのTMAガス供給量をウエハ200間でさらに均一化することができる。

【0107】

（3）本実施形態に係る効果

本実施形態によれば、第1の実施形態に係る効果に加え、以下に示す1つ又は複数の効果を奏する。

【0108】

（a）本実施形態によれば、第1の流速で主に処理室201内の下部側のウエハ200にTMAガスを局所的に供給する第1の原料ガス供給工程S131と、第1の流速より大きな第2の流速で主に処理室201内の上部側のウエハ200にTMAガスを局所的に供給する第2の原料ガス供給工程S133とを、サイクル毎に順次実施するようにしている。すなわち、1回の原料ガス供給工程で全てのウエハ200に対しTMAガスを均等に供給しようとするのではなく、1回の原料ガス供給工程では意図的に一部のウエハ200にのみTMAガスが局所的に供給されるようにしつつ、その後、流速を異ならせることでTMAガスが主に供給される場所を切り替えるようにしながら、サイクル毎に複数の原料ガス供給工程を順次実施するようにしている。これにより、原料ガスノズル233aをショートノズルとして構成したとしても、1サイクル全体で見たときのTMAガスの供給量をウエハ200間で均一化させることができる。そして、ウエハ200間での酸化アルミニウム膜500の膜厚均一性を向上させることができる。

【0109】

（b）本実施形態によれば、第1の原料ガス供給工程S131と第2の原料ガス供給工程S133とでTMAガス及びArガスの流量をそれぞれ一定としつつ、流量調整ガスと

10

20

30

40

50

しての $N_2$ ガスの流量のみを異ならせることで、TMAガスの流速を変化させている。これにより、TMAガスの流速の切り替えに係る制御が簡略化される。

【0110】

(c)また、本実施形態によれば、TMAガス及びArガスの流量をそれぞれ一定としつつ、TMAガス流量調整ガスとしての $N_2$ ガスの流量を異ならせることのみで、TMAガスの流速を変化させている。すなわち、各ウエハ200へのTMAガスの供給量は、第1の原料ガス供給工程S131と第2の原料ガス供給工程S133とで均等となる。そのため、第1の原料ガス供給工程S131及び第2の原料ガス供給工程S133の処理時間や実施回数をそれぞれ揃えることで、ウエハ200上に形成されるAl含有層500aの厚さ、すなわち、酸化アルミニウム膜500の厚さを、ウエハ200間で容易に均一化す

10

【0111】

<本発明の第3の実施形態>

次に、本発明の第3の実施形態について説明する。第3の実施形態は、第1の流速での処理室201内へのTMAガスの供給処理を実施した後、第2の流量での処理室201内へのTMAガスの供給処理を実施する前に、処理室201内へのオゾンガスの供給処理を行うようにした点が第2の実施形態とは異なる。すなわち、本実施形態では、異なる流速で処理室201内にTMAガスを供給する毎に、処理室201内にオゾンガスを供給してウエハ200上のAl含有層500aを酸化する。本実施形態は、反応ガスが熱分解し易い性質を有する場合には、特に有効である。すなわち、反応ガスノズル233bを、原料

20

【0112】

(1)処理炉の構成

本実施形態においては、制御部としてのコントローラ280は、第1の流速で主に処理室201内の下部側のウエハ200へのTMAガスの供給処理と、処理室201内へのオゾンガスの供給処理と、第1の流速よりも大きい第2の流速で主に処理室201内の上部側のウエハ200へのTMAガスの供給処理と、処理室201内へのオゾンガスの供給処理と、を1サイクルとして、このサイクルを所定回数実施させるように構成されている。なお、TMAガスの流速の切り替えは、第2の実施形態とほぼ同様の手法で行うことが

30

【0113】

(2)基板処理工程

次に、本実施形態に係る基板処理工程について説明する。図14は、本実施形態に係る基板処理工程のフローチャート図である。図15は、本実施形態のガス供給に係るタイミングチャート図である。これらの図面を参照しつつ、本実施形態に係る基板処理工程について説明する。

【0114】

本実施形態の基板処理工程では、図14に示すように、基板搬入工程S10、減圧・昇温工程S20、酸化アルミニウム膜形成工程S230、大気圧復帰工程S40、基板搬出工程S50を実施する。なお、酸化アルミニウム膜形成工程S230以外の工程は、第1、第2の実施形態と同様の処理手順及び処理条件で行うので、ここでは詳細な説明を省略する。

40

【0115】

[酸化アルミニウム膜形成工程S230]

本実施形態では、以下に示す第1の原料ガス供給工程S231～排気工程S238を1サイクルとして、このサイクルを所定回数実施することにより、ウエハ200上に所望の厚さの酸化アルミニウム膜500を形成する。

【0116】

(第1の原料ガス供給工程S231)

50

第1の原料ガス供給工程S231では、第2の実施形態の第1の原料ガス供給工程S131とほぼ同様の手順及び処理条件により、第1の流速で主に処理室201内の下部側のウエハ200にTMAガスを供給し(図11(a)を参照)、ウエハ200上に図7(b)に示すAl含有層500aを形成する。

【0117】

(排気工程S232)

続いて、排気工程S232では、第1の実施形態に係る排気工程S32とほぼ同様の処理手順及び処理条件により処理室201内をパージする。排気工程S232を行うことにより、図15(a)に示すように、第1の原料ガス供給工程S231で供給したTMAガスと、後述の反応ガス供給工程S233で供給するオゾンガスとが、互いに混合しないようにしている。

10

【0118】

(反応ガス供給工程S233)

続いて、反応ガス供給工程S233では、第1の実施形態に係る反応ガス供給工程S33とほぼ同様の手順及び処理条件に基づき処理室201内にオゾンガスを供給し、ウエハ200上のAl含有層500aを酸化させ、ウエハ200上に図7(c)に示す酸化アルミニウム層500bを形成する。なお、反応ガスノズル233bを、原料ガスノズル233aと同様にショートノズルとして構成した場合には、第2不活性ガス供給管240hからのN<sub>2</sub>ガス(流量調整ガス)の流量やオゾンガスの流量を調整すること等によってオゾンガスの流速を調整し、主に処理室201内の下部側のウエハ200(第1の原料ガス供給工程S231でTMAガスが供給されたウエハ200)にオゾンガスが供給されるようにするとよい。

20

【0119】

(排気工程S234)

続いて、排気工程S234では、第1の実施形態に係る排気工程S34とほぼ同様の処理手順及び処理条件により処理室201内をパージする。排気工程S234を行うことにより、図15(a)に示すように、反応ガス供給工程S233で供給したオゾンガスと、後述の第1の原料ガス供給工程S231で供給するTMAガスとが、互いに混合しないようにしている。

【0120】

(第2の原料ガス供給工程S235)

続いて、第2の原料ガス供給工程S235では、第2の実施形態の第2の原料ガス供給工程S133とほぼ同様の手順及び処理条件により、第2の流速で主に処理室201内の上部側のウエハ200にTMAガスを供給し(図11(b)を参照)、ウエハ200上に図7(b)に示すAl含有層500aを形成する。この際、TMAガスの流量は工程S231と工程S235とで変更されていないため、ウエハ200へのTMAガスの供給量は、工程S231と工程S235とで均等となる。そのため、工程S231及び工程S235の処理時間を揃えることで、ウエハ200上に形成されるAl含有層500aの厚さを、ウエハ200間で均一化することができる。

30

【0121】

(排気工程S236)

続いて、排気工程S236では、第1の実施形態に係る排気工程S34とほぼ同様の処理手順及び処理条件により処理室201内をパージする。排気工程S236を行うことにより、図15(a)に示すように、第2の原料ガス供給工程S235で供給したTMAガスと、後述の反応ガス供給工程S237で供給するオゾンガスとが、互いに混合しないようにしている。

40

【0122】

(反応ガス供給工程S237)

続いて、反応ガス供給工程S237では、第1の実施形態に係る反応ガス供給工程S33とほぼ同様の手順及び処理条件により処理室201内にオゾンガスを供給し、ウエハ2

50

00上のA1含有層500aを酸化させ、ウエハ200上に図7(c)に示す酸化アルミニウム層500bを形成する。なお、反応ガスノズル233bを、原料ガスノズル233aと同様にショートノズルとして構成した場合には、反応ガス供給工程S233と同様にオゾンガスの流速を調整し、主に処理室201内の上部側のウエハ200(第2の原料ガス供給工程S235でTMAガスが供給されたウエハ200)にオゾンガスが供給されるようにするとよい。

#### 【0123】

(排気工程S238)

続いて、排気工程S238では、第1の実施形態に係る排気工程S34とほぼ同様の処理手順及び処理条件により処理室201内をパージする。排気工程S238を行うことにより、図15(a)に示すように、反応ガス供給工程S237で供給したオゾンガスと、次のサイクルの第1の原料ガス供給工程S231で供給するTMAガスとが、互いに混合しないようにしている。

10

#### 【0124】

なお、上述の実施形態においても、第2の流速で主に処理室201内の上部側のウエハ200にTMAガスを供給した後、第2の流速よりも小さな第1の流速で主に処理室201内の下部側のウエハ200にTMAガスを供給するようにしてもよい。また、TMAガスの流速を3段階以上で切り替えながら、処理室201内の3つ以上の領域にTMAガスを順次供給するようにしてもよい。

#### 【0125】

20

(3) 本実施形態に係る効果

本実施形態によれば、第1、第2の実施形態に係る効果に加え、以下に示す効果を奏する。

#### 【0126】

本実施形態では、第1の原料ガス供給工程S231で主にポート217の下部側のウエハ200にTMAガスを供給した後、反応ガス供給工程S233で処理室201内にオゾンガスを供給し、その後、第2の原料ガス供給工程S235で主にポート217の上部側のウエハ200にTMAガスを供給するようにしている。これにより、特に第1の原料ガス供給工程S231においてTMAガスが供給される領域と、第2の原料ガス供給工程S235においてTMAガスが供給される領域との境界付近のウエハ200では、膜厚が厚くなる前にA1含有層500aは酸化されるので、酸化むらを抑え、酸化アルミニウム層500bにおける膜質のばらつきを抑えることができる。

30

#### 【0127】

また、本実施形態は、反応ガスが熱分解し易い性質を有する場合には、特に有効である。すなわち、反応ガスの熱分解を避けるため、反応ガスノズル233bを原料ガスノズル233aと同様にショートノズルとして構成した場合でも、反応ガス供給工程S233及び反応ガス供給工程S237で反応ガスの流速を互いに異ならせることで、原料ガスと同様に、1サイクル全体で見たときの反応ガス供給量をウエハ200間で均一化させることができる。

#### 【0128】

40

< 本発明の第4の実施形態 >

上述の実施形態では、TMAガスの流量、Arガス(キャリアガス)をそれぞれ一定にしつつ、第1不活性ガス供給管240gから供給されるN<sub>2</sub>ガス(流速調整ガス)の流量を異ならせることにより、TMAガスの流速を第1の流速と第2の流速とで切り替えていた。しかしながら、本発明はこのような実施形態に限定されない。例えば、本実施形態のように、第1不活性ガス供給管240gから供給されるN<sub>2</sub>ガス(流速調整ガス)の流量を一定にしつつ(或いは供給することなく)、TMAガス自体の流量を変えることで、TMAガスの流速を第1の流速と第2の流速とで切り替えるようにしてもよい。例えば、処理室201内の下部側のウエハ200へTMAガスを供給する場合にはTMAガスの流量を少なくしてTMAガスの流速を小さく(第1の流速)し、処理室201内の上部側のウ

50



エハ 200 へ TMA ガスを供給する場合には、TMA ガスの流量を多くして TMA ガスの流速を大きく（第 2 の流速）するとよい。

【0129】

なお、TMA ガス自体の流量を変えると、処理室 201 内への TMA ガスの供給量、すなわちウエハ 200 への TMA ガスの供給量も変化してしまう。そのため、TMA ガス自体の流量を変えることで TMA ガスの流速を変える場合には、1 サイクル当りの TMA ガスの供給時間や供給回数を調整するとよい。例えば、TMA ガス自体の流量を増やすことで TMA ガスの流速を大きくした場合には、TMA ガスの供給時間や供給回数を減らすとよい。同様に、TMA ガス自体の流量を減らすことで TMA ガスの流速を小さくした場合には、TMA ガスの供給時間や供給回数を増やすとよい。

10

【0130】

< 本発明の第 5 の実施形態 >

TMA ガスの流速は、ガス噴射口の口径によっても調整できる。例えば、ガス噴射口の口径が広いと処理室 201 内に供給される TMA ガスの流速は遅くなり、ガス噴射口の口径が狭いと処理室 201 内に供給される TMA ガスの流速は速くなる。そこで、本実施形態では、ノズル収容部 201 a 内におけるガス噴射口の高さ位置を揃えつつ、ウエハ 200 の収容予定領域よりも下方のノズル収容部 201 a 内の所定位置に、ガス噴射口の口径が異なる複数の原料ガスノズルを備えるようにしている。ガス噴射口の口径が大きい原料ガスノズルは、第 1 の流速で主に処理室 201 内の下部側のウエハ 200 に TMA ガスを供給するように構成されている。これに対して、ガス噴射口の口径が小さい原料ガスノズルは、第 2 の流速で主に処理室 201 内の上部側のウエハ 200 に TMA ガスを供給するように構成されている。

20

【0131】

本実施形態では、N<sub>2</sub> ガス（流量調整ガス）や TMA ガスの流量を変化させることなく、TMA ガスの流速を調整することができる。なお、本実施形態に係る原料ガスノズルの上流端は、例えば、複数の分岐された原料ガス供給管 240 a の下流端にそれぞれ接続されるようにすればよい。その場合、原料ガスノズルに接続される原料ガス供給管 240 a の各分岐部分に、開閉バルブをそれぞれ設けるようにすればよい。また、原料ガスノズルの開閉バルブは、コントローラ 280 により開閉動作が制御されるようにすればよい。このような構成とすれば、原料ガス供給管 240 a から供給される TMA ガスの流速を、原料ガスノズルの開閉バルブの開閉動作のみで切り替えることが可能となる。これにより、TMA ガスの流速に係る制御が簡略化される。

30

【0132】

< 本発明の第 6 の実施形態 >

TMA ガスの流速は、原料ガスノズルの長さ（或いはノズル内壁の表面粗さ）によっても調整できる。TMA ガスは原料ガスノズルの内壁と摩擦を起こしながらノズル内を流通するため、例えば、原料ガスノズルが長いと（或いはノズル内壁の表面粗さが大きいと）摩擦が大きく、処理室 201 内に供給される TMA ガスの流速は遅くなり、原料ガスノズルが短いと（或いはノズル内壁の表面粗さが小さいと）摩擦が小さく、処理室 201 内に供給される TMA ガスの流速は速くなる。そこで、本実施形態では、ノズル収容部 201 a 内におけるガス噴射口の高さ位置を揃えつつ、ウエハ 200 の収容予定領域よりも下方のノズル収容部 201 a 内の所定位置に、長さが異なる（或いはノズル内壁の表面粗さが異なる）複数の原料ガスノズルを備えるようにしている。長い原料ガスノズル（或いは内壁の表面粗さが大きいノズル）は、第 1 の流速で主に処理室 201 内の下部側のウエハ 200 に TMA ガスを供給するように構成されている。これに対して、短い原料ガスノズル（或いは内壁の表面粗さが小さいノズル）は、第 2 の流速で主に処理室 201 内の上部側のウエハ 200 に TMA ガスを供給するように構成されている。

40

【0133】

本実施形態においても、N<sub>2</sub> ガス（流量調整ガス）や TMA ガスの流量を変化させることなく、TMA ガスの流速を調整することができる。なお、本実施形態に係る複数の原料

50

ガスノズルの上流端は、例えば、複数に分岐された原料ガス供給管 240a の下流端にそれぞれ接続されるようにすればよい。その場合、原料ガスノズルに接続される原料ガス供給管 240a の各分岐部分に、開閉バルブをそれぞれ設けるようにすればよい。また、原料ガスノズルの開閉バルブは、コントローラ 280 により開閉動作が制御されるようにすればよい。このような構成とすれば、原料ガス供給管 240a から供給される TMA ガスの流速を、原料ガスノズルの開閉バルブの開閉動作のみで切り替えることが可能となる。これにより、TMA ガスの流速に係る制御が簡略化される。

#### 【0134】

< 本発明のその他の実施形態 >

以上、本発明の実施形態を具体的に説明したが、本発明はこれらに限定されるものではなく、その趣旨を逸脱しない範囲で種々の変更が可能である。

#### 【0135】

上述の実施形態では、処理室 201 がノズル収容部 201a を備え、原料ガスノズル 233a 及び反応ガスノズル 233b の垂直部の下流側がノズル収容部 201a 内に収容された構成となっていたが（図 4 を参照）、本発明はこのような実施形態に限定されない。図 16 は、本発明のその他の実施形態に係る基板処理装置が備えるプロセスチューブの横断面図であり、処理室 201 内にノズル収容部 201a が設けられていない場合を示している。このように、原料ガスノズル 233a 及び反応ガスノズル 233b はポート 217（ウエハ 200）の直近に配設された構成であってもよい。

#### 【0136】

上述の実施形態では液体原料として例えばアルミニウム原子を含有する TMA を用いたが、本発明はこのような形態に限定されない。すなわち、液体原料として Si 原子、Hf 原子、Zr 原子、Al 原子、Ta 原子、Ti 原子、Ru 原子、Ir 原子、Ge 原子、Sb 原子、Te 原子のいずれかを含む他の有機化合物あるいは塩化物を用いてもよい。また、第 1 の原料ガスとして TMA を気化させた TMA ガスを用いる場合に限定されず、Si 原子、Hf 原子、Zr 原子、Al 原子、Ta 原子、Ti 原子、Ru 原子、Ir 原子、Ge 原子、Sb 原子、Te 原子のいずれかを含む有機化合物あるいは塩化物を気化或いは分解させた他のガスを用いてもよい。

#### 【0137】

上述の実施形態では、反応ガスとしてオゾンガスを用いて酸化膜を形成したが、これ以外にも、例えば、O<sub>2</sub> ガスや H<sub>2</sub>O ガス等の酸化剤を用いて酸化膜を形成するようにしてもよい。また、反応ガスとして、例えば、アンモニアガス、N<sub>2</sub> ガス、N<sub>2</sub>O、NO<sub>2</sub> などの窒化剤を用いて窒化膜を形成するようにしてもよい。

#### 【0138】

上述の実施形態では、ウエハ 200 上に酸化アルミニウム膜を形成する場合について説明したが、その他、Hf 酸化膜、Si 酸化膜、Al 酸化膜、Ta 酸化膜、Ti 酸化膜、Ru 酸化膜、Ir 酸化膜、Si 窒化膜、Al 窒化膜、Ti 窒化膜、Ge Sb Te 膜のいずれかを形成する場合にも本発明は好適に適用可能である。

#### 【実施例】

#### 【0139】

以下に本発明の実施例について説明する。本実施例では、上述の第 2 の実施形態と同様の手法でウエハ上に酸化アルミニウム膜を形成した。図 18 は、本実施例と従来例とを対比させながら、ノズル内における分解物の堆積の有無と、酸化アルミニウム膜の膜特性とを示す図である。なお、これらの酸化アルミニウムの成膜に係るガス供給の条件は、図 13 にそれぞれ示されている。

#### 【0140】

本実施例の第 1 の原料ガス供給工程では、図 13 に示すように、キャリアガスとしての Ar ガスの流量を 0.5 s l m とし、流量調整ガスとしての N<sub>2</sub> ガスの流量を 3 s l m とした。第 2 の原料ガス供給工程では、図 13 に示すように、キャリアガスとしての Ar ガスの流量を 0.5 s l m とし、流量調整ガスとしての N<sub>2</sub> ガスの流量を 20 s l m とした

10

20

30

40

50

。

【 0 1 4 1 】

これに対して従来例では、図 1 3 に示すように、キャリアガスとしての A r ガスの流量を 0 . 5 s l m とし、N<sub>2</sub> ガスの流量を 1 5 s l m とした。

【 0 1 4 2 】

図 1 8 では、酸化アルミニウム膜の膜厚、膜厚の面内均一性、膜厚のウエハ間均一性、及び膜中の不純物の量の膜特性、並びに原料ガスノズル内における分解物の堆積の有無の、実施例と従来例とを対比して示されている。

【 0 1 4 3 】

処理温度を 3 8 0 から 5 5 0 に上げて成膜を行った場合、実施例では、原料ガスノズル内に T M A ガスの分解物は堆積しなかった。これに対して、従来例では、原料ガスノズル内に T M A ガスの分解物が堆積していた。

10

【 0 1 4 4 】

また、実施例では、5 5 0 で成膜を行った場合でも、ウエハ間の膜厚均一性は ± 1 . 1 % となった。これに対して従来例では、処理温度を 3 8 0 から 5 5 0 に上げて成膜を行った場合、ウエハ面間の膜厚均一性は、± 1 % であったのが ± 4 . 1 % に低下し、ウエハ間における膜厚のばらつきが大きくなった。したがって、実施例では、処理温度を 5 5 0 に上昇させたにも関わらず、ウエハ面間の膜厚均一性は 3 8 0 で行った従来例とほぼ同等であった。

【 0 1 4 5 】

20

また、実施例ではウエハ面に付着する異物の数が 5 9 個であった。これに対して従来例では、処理温度を 3 8 0 から 5 5 0 に上げて成膜を行った場合、ウエハ面に付着する異物の数が 3 0 個であったのが最大で 5 0 0 個まで増大した。したがって、処理温度を上昇させたにも関わらず、ウエハ面に付着する異物の数の増加が抑えられた。

【 0 1 4 6 】

< 本発明の好ましい態様 >

以下に本発明の望ましい態様について付記する。

【 0 1 4 7 】

[ 付記 1 ]

本発明の第 1 の態様は、  
複数枚の基板を水平姿勢に積層した状態で収容する処理室と、  
前記処理室の外側に設けられ、前記処理室内を加熱する加熱ユニットと、  
原料ガスを供給する原料ガス供給ユニットと、  
前記原料ガス供給ユニットと接続され、前記原料ガス供給ユニットから供給される前記原料ガスを前記処理室内に供給する原料ガスノズルと、  
前記処理室内を実質的に水平方向に排気する排気ユニットと、  
少なくとも前記加熱ユニット、前記原料ガス供給ユニット、前記排気ユニットを制御する制御部と、  
を有し、

30

前記原料ガスノズルは、前記処理室内の温度が前記原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても内部で前記原料ガスが分解しないような前記処理室内の所定位置に配設されている基板処理装置である。

40

【 0 1 4 8 】

[ 付記 2 ]

本発明の第 2 の態様は、  
複数枚の基板を水平姿勢に積層した状態で収容する処理室と、  
前記処理室の外側に設けられ、前記処理室内を加熱する加熱ユニットと、  
原料ガスを供給する原料ガス供給ユニットと、  
前記原料ガス供給ユニットと接続され、前記原料ガス供給ユニットから供給される前記原料ガスを前記処理室内に供給する原料ガスノズルと、

50

前記処理室内を実質的に水平方向に排気する排気ユニットと、  
少なくとも前記加熱ユニット、前記原料ガス供給ユニット、前記排気ユニットを制御する制御部と、  
を有し、

前記原料ガスノズルは、前記処理室内の温度が前記原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても内部で前記原料ガスが分解しないような前記処理室内の所定位置に配設され、

前記制御部は、異なる流速で互いに混合させないように前記処理室内に前記原料ガスを供給する処理を含むサイクルを所定回数実施させるように構成されている基板処理装置である。

10

【0149】

[付記3]

好ましくは、

前記原料ガスと反応する反応ガスを供給する反応ガス供給ユニットと、

前記反応ガス供給ユニットと接続され、前記基板の積層方向に沿って前記処理室内に配設され、前記反応ガス供給ユニットから供給される前記反応ガスを前記処理室内に供給する反応ガスノズルと、

を有し、

前記制御部は、第1の流速での前記処理室内への前記原料ガスの供給処理と、前記第1の流速とは異なる第2の流速での前記処理室内への前記原料ガスの供給処理と、前記処理室内への前記反応ガスの供給処理と、を1サイクルとして、このサイクルを所定回数実施させるように構成されている。

20

【0150】

[付記4]

本発明の第3の態様は、

複数枚の基板を水平姿勢に積層した状態で収容する処理室と、

前記処理室の外側に設けられ、前記処理室内を加熱する加熱ユニットと、

原料ガスを供給する原料ガス供給ユニットと、

前記原料ガス供給ユニットと接続され、前記原料ガス供給ユニットから供給される前記原料ガスを前記処理室内に供給する原料ガスノズルと、

30

前記処理室内を実質的に水平方向に排気する排気ユニットと、

少なくとも前記加熱ユニット、前記原料ガス供給ユニット、前記排気ユニットを制御する制御部と、

を有し、

前記原料ガスノズルは、前記処理室内の温度が前記原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても内部で前記原料ガスが分解しないような前記処理室の下部の所定位置に配設されるとともに、前記処理室の上部に向けて前記原料ガスを供給するように原料ガス噴出口が開設され、

前記制御部は、第1の流速での前記処理室の下部側に収容される前記基板への前記原料ガスの供給処理と、前記第1の流速よりも大きい第2の流速での前記処理室の上部側に収容されるそれ以外の前記基板への前記原料ガスの供給処理と、を含むサイクルを所定回数実施させるように構成されている基板処理装置である。

40

【0151】

[付記5]

本発明の第4の態様は、

複数枚の基板を水平姿勢に積層した状態で収容する処理室を内部空間に構成するインナチューブと、

前記インナチューブを取り囲むアウトチューブと、

前記アウトチューブの外側に設けられ、前記処理室内を加熱する加熱ユニットと、

原料ガスを供給する原料ガス供給ユニットと、

50

前記原料ガス供給ユニットと接続され、前記原料ガス供給ユニットから供給される前記原料ガスを原料ガス供給口を介して前記処理室内に供給する原料ガスノズルと、

前記インナチューブの側壁に開設されたガス排気口と、

前記アウトチューブと前記インナチューブとに挟まれる空間を排気して、前記原料ガス噴出口から前記ガス排気口へと向かう実質的に水平方向のガス流を生成させながら前記処理室内を排気する排気ユニットと、

少なくとも前記加熱ユニット、前記原料ガス供給ユニット、前記排気ユニットを制御する制御部と、  
を有し、

前記原料ガスノズルは、前記処理室内の温度が前記原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても内部で前記原料ガスが分解しないような前記処理室の下部の所定位置に配設されるとともに、前記処理室の上部に向けて前記原料ガスを供給するように前記原料ガス噴出口が開設され、

前記制御部は、第 1 の流速での前記処理室の下部側に收容される前記基板への前記原料ガスの供給処理と、前記第 1 の流速よりも大きい第 2 の流速での前記処理室の上部側に收容されるそれ以外の前記基板への前記原料ガスの供給処理と、を含むサイクルを所定回数実施させるように構成されている基板処理装置である。

【 0 1 5 2 】

[ 付記 6 ]

好ましくは、

前記原料ガスと反応する反応ガスを供給する反応ガス供給ユニットと、

前記反応ガス供給ユニットと接続され、前記基板の積層方向に沿って前記処理室内に配設され、前記反応ガス供給ユニットから供給される前記反応ガスを前記処理室内に供給する反応ガスノズルと、

を有し、

前記制御部は、前記第 1 の流速での前記原料ガスの供給処理と、前記第 2 の流速での前記原料ガスの供給処理と、前記反応ガスの供給処理と、を 1 サイクルとしてこのサイクルを所定回数実施させるように構成されている。

【 0 1 5 3 】

[ 付記 7 ]

また、好ましくは、

前記原料ガスノズルに不活性ガスを供給する不活性ガス供給管が接続され、

前記制御部は、前記不活性ガスの流量を変化させることで前記原料ガスの流速を前記第 1 の流速と前記第 2 の流速とで異ならせるように構成されている。

【 0 1 5 4 】

[ 付記 8 ]

また、好ましくは、

前記制御部は、

前記原料ガスの流量を変化させることにより前記原料ガスの流速を前記第 1 の流速と第 2 の流速とで異ならせるとともに、

前記第 1 の流速による前記原料ガスの供給処理を前記第 2 の流速による前記原料ガスの供給処理よりも長時間実施させるように構成されている。

【 0 1 5 5 】

[ 付記 9 ]

また、好ましくは、

前記制御部は、

前記原料ガスの流量を変化させることにより前記原料ガスの流速を異ならせるとともに、

前記第 1 の流速での前記原料ガスの供給処理を所定回数実施させる処理と、

前記第 1 の流速の場合よりも少ない回数で前記第 2 の流量での前記原料ガスの供給処理

10

20

30

40

50

を所定回数実施させる処理と、を少なくとも含むサイクルを所定回数実施させるように構成されている。

【 0 1 5 6 】

[ 付記 1 0 ]

また、好ましくは、

前記処理室内の前記所定位置に、前記ガス噴射口の口径が異なる複数の前記原料ガスノズルを備える。

【 0 1 5 7 】

[ 付記 1 1 ]

また、好ましくは、

前記処理室の前記所定位置に、長さが異なる複数の前記原料ガスノズルを備える。

【 0 1 5 8 】

[ 付記 1 2 ]

本発明の第 5 の態様は、

水平姿勢で積層された複数枚の基板を処理室内に収容する基板搬入工程と、

前記処理室内の温度が原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても内部で前記原料ガスが分解しないような前記処理室内の所定位置に配設された原料ガスノズルから、第 1 の流速で前記処理室内に前記原料ガスを供給する第 1 の原料ガス供給工程と、

前記原料ガスノズルから、前記第 1 の流速とは異なる第 2 の流速で前記処理室内に前記原料ガスを供給する第 2 の原料ガス供給工程と、

前記基板の積層方向に沿って前記処理室内に配設された反応ガスノズルから、前記原料ガスと反応する反応ガスを前記処理室内に供給する反応ガス供給工程と、

前記処理室内を実質的に水平方向に排気する排気工程と、

処理が完了した前記基板を前記処理室から搬出する基板搬出工程と、を有し、

前記第 1 の原料ガス供給工程と、前記第 2 の原料ガス供給工程と、前記反応ガス供給工程と、を 1 サイクルとしてこのサイクルを所定回数実施して前記基板上に所定の膜を形成する半導体装置の製造方法である。

【 0 1 5 9 】

[ 付記 1 3 ]

本発明の第 6 の態様は、

水平姿勢で積層された複数枚の基板を処理室内に収容する基板搬入工程と、

前記処理室内の温度が原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても内部で前記原料ガスが分解しないような前記処理室の下部の所定位置に配設されるとともに、前記処理室の上部に向けて原料ガス噴出口が開設された原料ガスノズルから、第 1 の流速で前記処理室の下部側に収容される前記基板へ前記原料ガスを供給する第 1 の原料ガス供給工程と、

前記原料ガスノズルから、前記第 1 の流速よりも大きい第 2 の流速で前記処理室の上部側に収容されるそれ以外の前記基板へ前記原料ガスを供給する第 2 の原料ガス供給工程と、

前記基板の積層方向に沿って前記処理室内に配設された反応ガスノズルから、前記原料ガスと反応する反応ガスを前記処理室内に供給する反応ガス供給工程と、

前記処理室内を実質的に水平方向に排気する排気工程と、

処理が完了した前記基板を前記処理室から搬出する基板搬出工程と、を有し、

前記第 1 の原料ガス供給工程と、前記第 2 の原料ガス供給工程と、前記反応ガス供給工程と、を 1 サイクルとしてこのサイクルを所定回数実施して前記基板上に所定の膜を形成する半導体装置の製造方法である。

【 0 1 6 0 】

[ 付記 1 4 ]

本発明の第 7 の態様は、

水平姿勢で積層された複数枚の基板をインナチューブの内部に構成される処理室内に収容する基板搬入工程と、

前記処理室内の温度が原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても内部で前記原料ガスが分解しないような前記処理室の下部の所定位置に配設されるとともに、前記処理室の上部に向けて原料ガス噴出口が開設された原料ガスノズルから、第１の流速で前記処理室の下部側に收容される前記基板へ前記原料ガスを供給する第１の原料ガス供給工程と、

前記原料ガスノズルから、前記第１の流速よりも大きい第２の流速で前記処理室の上部側に收容されるそれ以外の前記基板へ前記原料ガスを供給する第２の原料ガス供給工程と、

前記基板の積層方向に沿って前記処理室内に配設された反応ガスノズルから、前記原料ガスと反応する反応ガスを前記処理室内に供給する反応ガス供給工程と、

前記インナチューブの側壁にガス排気口が開設され、前記インナチューブを取り囲むアウトチューブと前記インナチューブとに挟まれる空間を排気して前記原料ガス噴出口から前記ガス排気口へと向かう実質的に水平方向のガス流を生成させながら前記処理室内を排気する排気工程と、

処理が完了した前記基板を前記処理室から搬出する基板搬出工程と、を有し、

前記第１の原料ガス供給工程と、前記第２の原料ガス供給工程と、前記反応ガス供給工程と、を１サイクルとしてこのサイクルを所定回数実施して前記基板上に所定の膜を形成する半導体装置の製造方法である。

【０１６１】

[付記１５]

好ましくは、

前記第１の原料ガス供給工程では、前記原料ガスノズルに接続された不活性ガス供給管からの不活性ガスとともに前記第１の流速で前記処理室内に前記原料ガスを供給し、

前記第２の原料ガス供給工程では、前記第１の原料ガス供給工程よりも流量を増やした前記不活性ガスとともに前記第２の流速で前記処理室内に前記原料ガスを供給する。

【０１６２】

[付記１６]

また、好ましくは、

前記原料ガスの流量を変化させることにより前記第１の原料ガス供給工程と前記第２の原料ガス供給工程とで前記原料ガスの流速を異ならせるとともに、

前記第１の原料ガス供給工程を前記第２の原料ガス供給工程よりも長時間実施する。

【０１６３】

[付記１７]

また、好ましくは、

前記原料ガスの流量を変化させることにより前記第１の原料ガス供給工程と前記第２の原料ガス供給工程とで前記原料ガスの流速を異ならせるとともに、

前記第１の原料ガス供給工程を所定回数実施し、

前記第１の原料ガス供給工程よりも少ない回数で前記第２の原料ガス供給工程を所定回数実施するサイクルを所定回数実施する。

【０１６４】

[付記１８]

本発明の第８の態様は、

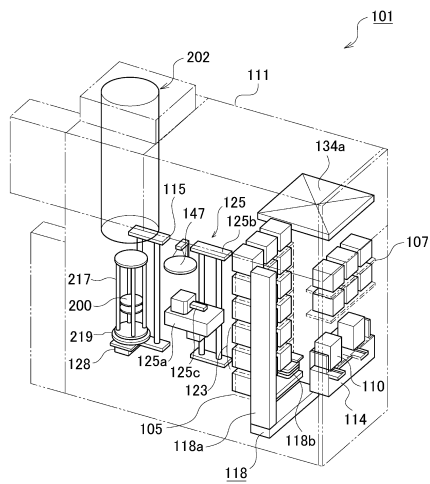
積層された基板を收容する処理室内の温度が原料ガスの熱分解温度よりも高い場合であっても内部で前記原料ガスが分解しないような前記処理室内の所定位置に配設された原料ガスノズルから、第１の流速で前記処理室内に前記原料ガスを供給する第１の原料ガス供給工程と、前記原料ガスノズルから前記第１の流速とは異なる第２の流速で前記処理室内に前記原料ガスを供給する第２の原料ガス供給工程と、前記基板の積層方向に沿って前記処理室内に配設された反応ガスノズルから前記原料ガスと反応する反応ガスを前記処理室内に供給する反応ガス供給工程と、を１サイクルとしてこのサイクルを所定回数実施することにより形成される所定の膜を有する半導体装置である。

【符号の説明】

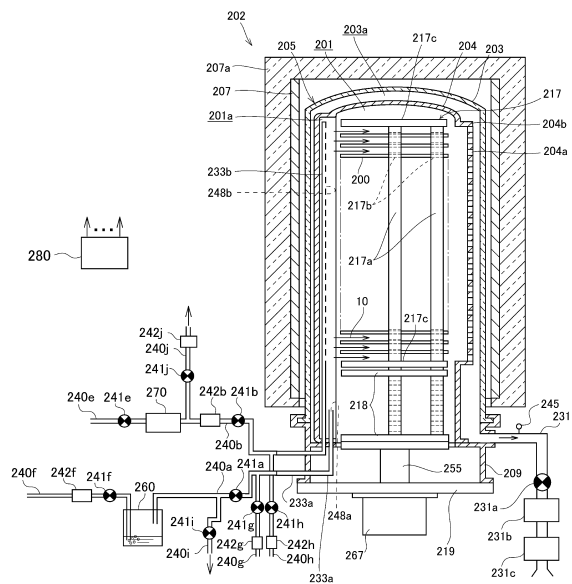
## 【 0 1 6 5 】

- 2 0 0      ウエハ（基板）
- 2 0 1      処理室
- 2 0 7      ヒータ（加熱ユニット）
- 2 3 3 a    原料ガスノズル
- 2 8 0      コントローラ

【 図 1 】

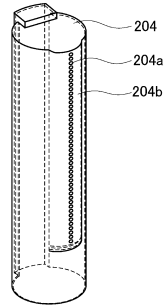


【 図 2 】

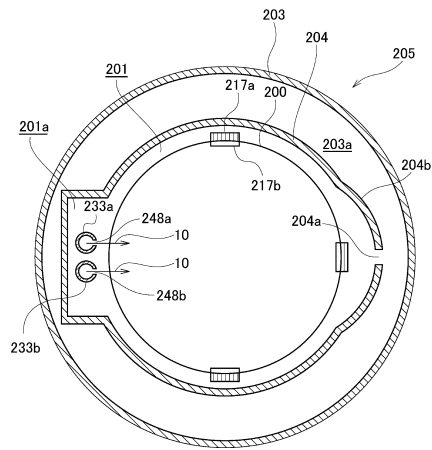




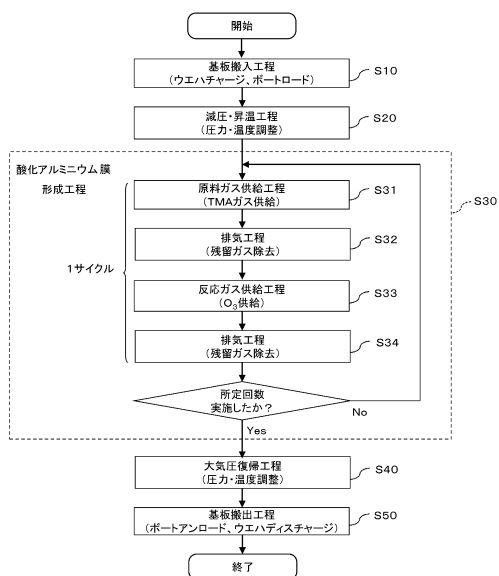
【図 3】



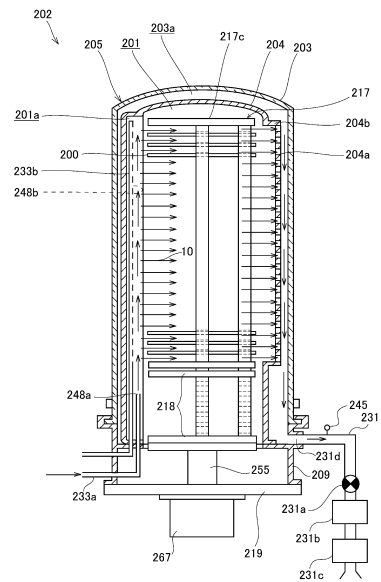
【図 4】



【図 6】



【図 5】

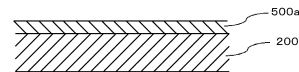


【図 7】

(a) 基板処理工程前



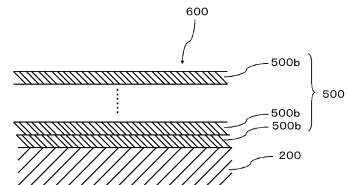
(b) TMAガス供給後



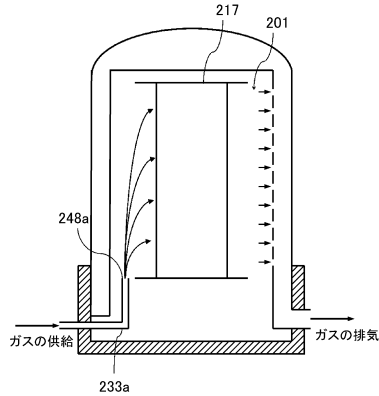
(c) オゾンガス供給後



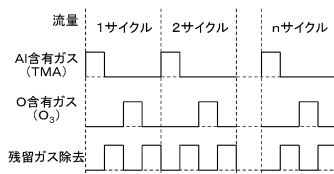
(d) 所定サイクル終了後



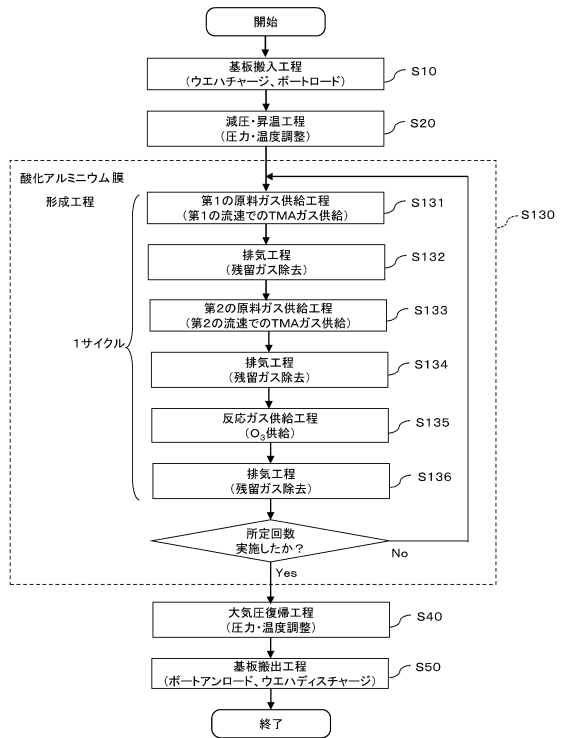
【図 8】



【図 9】

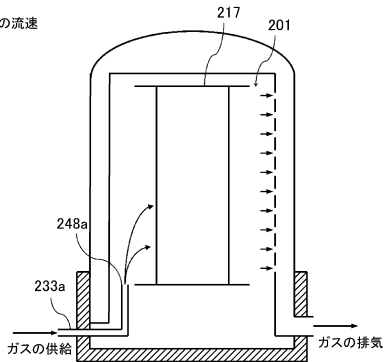


【図 10】

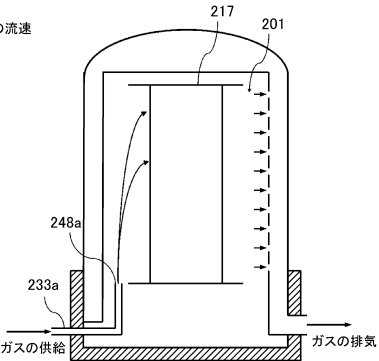


【図 11】

(a) 第1の流速

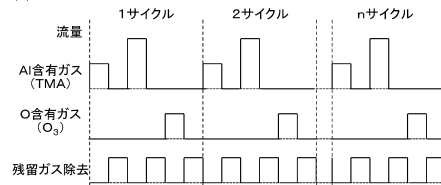


(b) 第2の流速

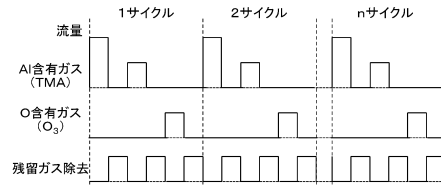


【図 12】

(a)



(b)



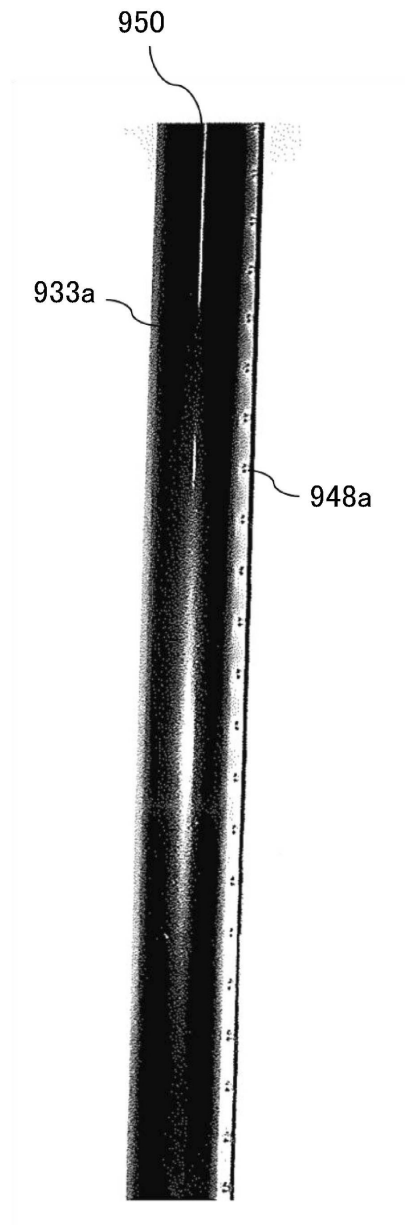


## 【図 18】

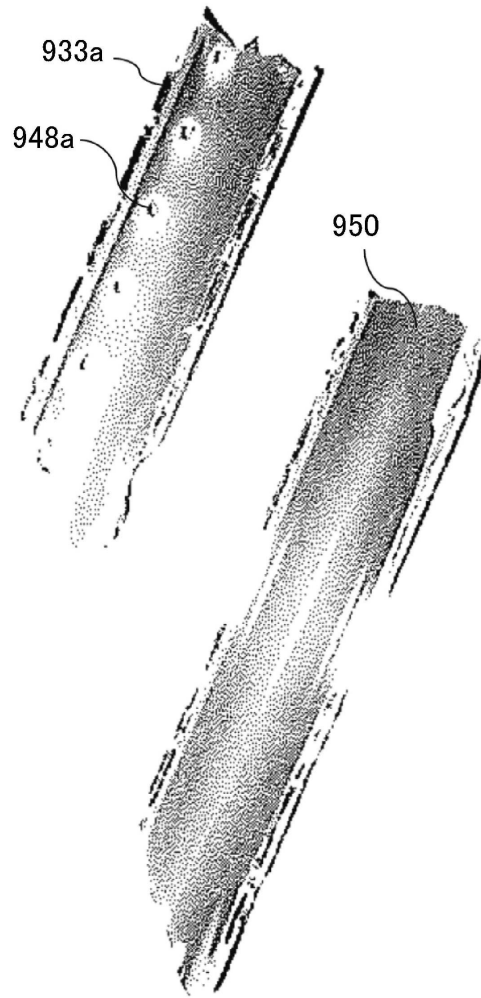
項目		実施例	従来例	
		550℃	380℃	550℃
膜特性	膜厚	103.8 Å	100 Å	81.2 Å
	膜厚ウエハ面内均一性	±1.7%	±1.0%	±1.3%
	膜厚ウエハ間均一性	±1.1%	±1.0%	±4.1%
	異物の数	59個	30個	30～500個
ノズル内における分解物の堆積		なし	なし	あり

【図 19】

(a)

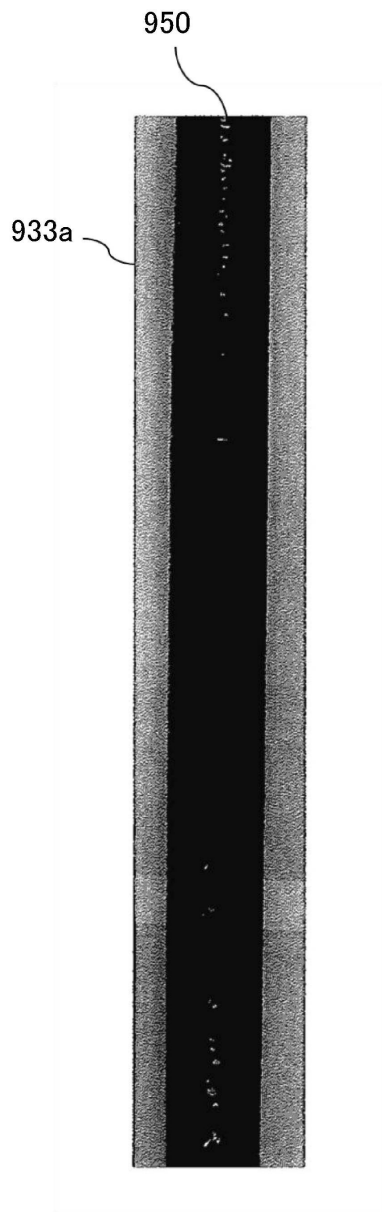


(b)

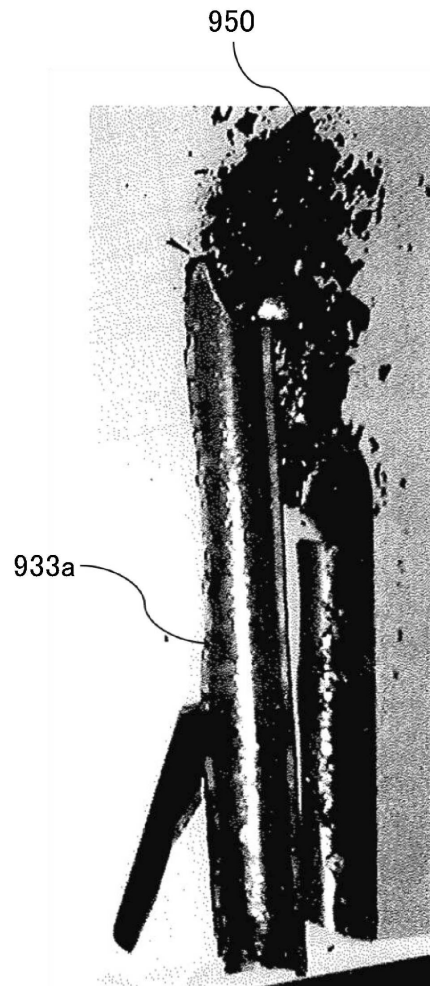


【図 20】

(a)



(b)



---

フロントページの続き

(72)発明者 小倉 慎太郎

富山県富山市八尾町保内二丁目 1 番地 株式会社日立国際電気内

審査官 正山 旭

(56)参考文献 特開 2 0 0 6 - 0 1 3 4 9 0 ( J P , A )

特開平 0 3 - 2 0 9 8 1 7 ( J P , A )

特開平 0 9 - 3 3 0 8 8 4 ( J P , A )

特開平 0 6 - 3 4 9 7 6 1 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L 2 1 / 3 1

C 0 1 F 7 / 0 2

C 2 3 C 1 6 / 4 4