

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5919371号
(P5919371)

(45) 発行日 平成28年5月18日 (2016. 5. 18)

(24) 登録日 平成28年4月15日 (2016. 4. 15)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 21/316 (2006. 01)	HO 1 L 21/316 X
C 2 3 C 16/455 (2006. 01)	C 2 3 C 16/455
HO 1 L 21/31 (2006. 01)	HO 1 L 21/31 C
	HO 1 L 21/31 B

請求項の数 20 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2014-503181 (P2014-503181)	(73) 特許権者	510275024
(86) (22) 出願日	平成23年4月7日 (2011. 4. 7)		ピコサン オーワイ
(65) 公表番号	特表2014-517499 (P2014-517499A)		P I C O S U N O Y
(43) 公表日	平成26年7月17日 (2014. 7. 17)		フィンランド共和国 F I - O 2 1 5 0
(86) 国際出願番号	PCT/FI2011/050303		エスポー ティエトティエ 3
(87) 国際公開番号	W02012/136876		T i e t o t i e 3, F I - O 2 1 5
(87) 国際公開日	平成24年10月11日 (2012. 10. 11)		O E s p o o, F i n l a n d
審査請求日	平成26年3月10日 (2014. 3. 10)	(74) 代理人	100127188
			弁理士 川守田 光紀
		(72) 発明者	キルピ ヴァイノ
			フィンランド共和国 F I - O 2 1 3 0
			エスポー ラウドウンティエ 4 A

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ源による原子層堆積

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反応室の上であって、前記反応室とプラズマ原子層堆積反応炉の遠隔プラズマ源との間に基板移送室を設けることと、

前記基板移送室を通じて少なくとも1つの基板を前記反応室に装填することと、

前記反応室内の前記少なくとも1つの基板に連続自己飽和表面反応によって材料を堆積させるように、前記プラズマ原子層堆積反応炉を作動させることと、

堆積サイクルのほぼ全体にわたって、不活性ガス源からのガスを、前記反応室に向かって開いた拡張型ラジカル供給部へと前記遠隔プラズマ源を通じて流すことと、を含む方法。

【請求項 2】

前記方法は、プラズマ原子層堆積期間のうちのプラズマ前駆体パルス期間中、前記不活性ガス源からのガスを、前記遠隔プラズマ源を通して前記ラジカル供給部に流入させることを含み、前記ガスは、当該パルス期間中、発生させたラジカルのキャリアガスとして機能する、

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記方法は、プラズマ原子層堆積期間のうちのパーズ期間中、前記不活性ガス源からのガスを、前記遠隔プラズマ源を通して前記ラジカル供給部に流入させることを含み、前記ガスは、当該パーズ期間中、パーズおよび不活性シールドガスとして機能する、

請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

プラズマ原子層堆積期間および熱原子層堆積期間の両期間中、前記不活性ガス源からのガスを、前記遠隔プラズマ源を通して前記ラジカル供給部に流入させること、を含む請求項 1 から 3 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

不活性ガス源からのガスを、前記遠隔プラズマ源を迂回する経路で前記ラジカル供給部に流入させること、を含む請求項 1 から 4 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 6】

前記プラズマ原子層堆積期間中、前記不活性ガス源からのガスを、前記遠隔プラズマ源を通る経路および前記遠隔プラズマ源を迂回する別の経路の両経路で、前記ラジカル供給部に流入させること、を含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記熱原子層堆積期間中、前記不活性ガス源からのガスを、前記遠隔プラズマ源を迂回する前記経路のみで、前記ラジカル供給部に流入させることと、

当該期間中、前記遠隔プラズマ源を通して流れる前記不活性ガス源からのガスを排気管路に導くことと、

を含む請求項 1 または 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記方法は、前記プラズマ原子層堆積期間中、1 つ以上の熱原子層堆積供給管路を通して不活性ガスを前記反応室に向けて導くことを含み、前記 1 つ以上の熱原子層堆積供給管路は、前記プラズマ原子層堆積期間中、ラジカルを前記反応室に導く 1 つ以上のプラズマ源管路から離隔される、

請求項 1 から 7 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 9】

少なくとも 1 つの機械式アクチュエータによって収縮形状と伸長形状との間で変形可能な変形可能供給部を使用すること、

を含む請求項 1 から 8 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 10】

少なくとも 1 つの基板を担持する基板ホルダが前記変形可能供給部に機械的に結合され、前記方法は、

前記変形可能供給部を変形させることによって、少なくとも 1 つの基板を担持する前記基板ホルダを装填または取り出しのための上方位置に上昇させること、

を含む請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

プラズマ原子層装置であって、

不活性ガス源から反応室に向かって開いた拡張型ラジカル供給部までのガス管路と、

遠隔プラズマ源と、

前記反応室の上であって、前記反応室と前記遠隔プラズマ源との間に設けられる基板移送室と、

堆積サイクルのほぼ全体にわたって前記不活性ガス源からのガスを供給部に流入させるように構成された制御システムと、

を備え、

前記基板移送室を通じて少なくとも 1 つの基板を前記反応室に装填し、

前記反応室内の少なくとも 1 つの基板に連続自己飽和表面反応によって材料を堆積させる、

ように構成される、プラズマ原子層装置。

【請求項 12】

10

20

30

40

50

前記制御システムは、プラズマ原子層堆積期間のうちのプラズマ前駆体パルス期間中、前記不活性ガス源からのガスを、前記遠隔プラズマ源を通して前記ラジカル供給部に流入させるように構成され、前記ガスは、当該パルス期間中、発生させたラジカルのキャリアガスとして機能する、請求項 1 1 に記載の装置。

【請求項 1 3】

前記制御システムは、プラズマ原子層堆積期間のうちのパージ期間中、前記不活性ガス源からのガスを、前記遠隔プラズマ源を通して前記ラジカル供給部に流入させるように構成され、前記ガスは、当該パージ期間中、パージおよび不活性シールドガスとして機能する、請求項 1 1 または 1 2 に記載の装置。

【請求項 1 4】

前記制御システムは、プラズマ原子層堆積期間および熱原子層堆積期間の両期間中、前記不活性ガス源からのガスを、前記遠隔プラズマ源を通して前記ラジカル供給部に流入させるように構成される、請求項 1 1 乃至 1 3 の何れかに記載の装置。

【請求項 1 5】

前記制御システムは、不活性ガス源からのガスを、前記遠隔プラズマ源を迂回する経路で、前記ラジカル供給部に流入させるように構成される、請求項 1 1 から 1 4 の何れか 1 項に記載の装置。

【請求項 1 6】

前記制御システムは、前記プラズマ原子層堆積期間中、前記不活性ガス源からのガスを、前記遠隔プラズマ源を通る経路および前記遠隔プラズマ源を迂回する別の経路の両方で、前記ラジカル供給部に流入させるように構成される、請求項 1 1 に記載の装置。

【請求項 1 7】

前記制御システムは、前記熱原子層堆積期間中、前記不活性ガス源からのガスを、前記遠隔プラズマ源を迂回する前記経路のみで、前記ラジカル供給部に流入させるべく、さらに、

当該期間中、前記遠隔プラズマ源を通過して流れる前記不活性ガス源からのガスを排気管路に導くべく、構成される、請求項 1 1 または 1 6 に記載の装置。

【請求項 1 8】

前記制御システムは、前記プラズマ原子層堆積期間中、1 つ以上の熱原子層堆積供給管路を通して不活性ガスを前記反応室に向けて導くように構成され、前記 1 つ以上の熱原子層堆積供給管路は、前記プラズマ原子層堆積期間中、ラジカルを前記反応室に導く 1 つ以上のプラズマ源管路から離隔される、請求項 1 1 から 1 7 の何れか 1 項に記載の装置。

【請求項 1 9】

前記供給部は変形可能であり、前記装置は前記供給部を収縮形状と伸長形状との間で変形させるための機械式アクチュエータを少なくとも 1 つ備える、請求項 1 1 から 1 8 の何れか 1 項に記載の装置。

【請求項 2 0】

少なくとも 1 つの基板を担持する基板ホルダが前記変形可能供給部に機械的に結合され、前記変形可能供給部を変形させることによって、少なくとも 1 つの基板を担持する前記基板ホルダを装填または取り出しのための上方位置に上昇させる、請求項 1 9 に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【発明の分野】

【0 0 0 1】

本発明は、全般的には、プラズマ源を有する堆積反応炉に関する。特に、本発明は、このような堆積反応炉であって、材料が表面に連続自己飽和表面反応によって堆積される堆積反応炉に関するが、これだけに限定されるものではない。

【発明の背景】

【0 0 0 2】

10

20

30

40

50

原子層エピタキシー (ALE: Atomic Layer Epitaxy) 法は、1970年代初頭にツオモ・サントラ (Tuomo Suntola) 博士によって発明された。この方法は別の一般名として原子層堆積 (ALD: Atomic Layer Deposition) と呼ばれ、今日ではALEの代わりにALDが使用されている。ALDは、少なくとも2つの反応性前駆体種を基板に順次導入することによる特殊な化学的堆積法である。基板は、反応空間内に配置される。反応空間は、一般には加熱される。ALDの基本的な成長メカニズムは、化学的吸着 (化学吸着) と物理的吸着 (物理吸着) との間の結合強度の差を利用する。ALDは、堆積プロセス中、化学吸着を利用し、物理吸着を排除する。化学吸着中、固相表面の原子 (単数または複数) と気相から到来する分子との間に強力な化学結合が形成される。物理吸着による結合は、ファンデルワールス力のみが作用するため、相対的にはるかに弱い。物理吸着による結合は、局部温度が分子の凝縮温度を超えると、熱エネルギーによって容易に破壊される。

10

【0003】

ALD反応炉の反応空間は、薄膜の堆積に用いられる各ALD前駆体に交互に順次曝露される全ての加熱された表面を含む。基本的なALD堆積サイクルは、連続する4つのステップ、すなわち、パルスA、パージA、パルスB、およびパージB、で構成される。パルスAは、一般には金属前駆体蒸気で構成され、パルスBは非金属前駆体蒸気、特に窒素または酸素前駆体蒸気、で構成される。パージAおよびパージB期間中は、ガス状の反応副生成物とガス状の残留反応物分子とを反応空間からパージするために、窒素またはアルゴンなどの不活性ガスと真空ポンプとが用いられる。1つの堆積シーケンスは、少なくとも1つの堆積サイクルを含む。この堆積シーケンスによって所望の厚さの薄膜が発生されるまで、堆積サイクルが繰り返される。

20

【0004】

前駆体種は、加熱された表面の反応部位への化学結合を化学吸着によって形成する。一般には、1つの前駆体パルス期間中に固体材料の単一分子層のみが各表面に形成されるように、条件が構成される。したがって、この成長プロセスは自己終結または飽和する。例えば、第1の前駆体はリガンドを含むことができる。リガンドは吸着種に付着したままであることによって表面を飽和させ、さらなる化学吸着を防止する。反応空間の温度は、前駆体分子種が基本的にそのままの状態でも基板 (単数または複数) 上に化学吸着されるように、使用される前駆体の凝縮温度より高く、熱分解温度より低く維持される。基本的にそのままの状態では、前駆体分子種が表面に化学吸着されるときに、揮発性リガンドが前駆体分子から離脱できることを意味する。表面は、基本的に、第1の種類の反応部位、すなわち第1の前駆体分子の吸着種で飽和する。この化学吸着ステップの後に、一般には第1のパージステップ (パージA) が続き、第1の前駆体の余剰分と存在しうる反応副生成物とが反応空間から除去される。次に、第2の前駆体蒸気が反応空間に導入される。第2の前駆体分子は、一般には第1の前駆体分子の吸着種と反応し、これにより所望の薄膜材料が形成される。この成長は、吸着された第1の前駆体の全量が消費されて表面が基本的に第2の種類の反応部位で飽和すると終了する。次に、第2の前駆体蒸気の余剰分と存在しうる反応副生成物蒸気とが第2のパージステップ (パージB) によって除去される。その後、このサイクルは、膜が所望の厚さに成長するまで繰り返される。堆積サイクルをより複雑にすることもできる。例えば、各堆積サイクルは、パージステップによってそれぞれ分離された3つ以上の反応物蒸気パルスを含むことができる。これら堆積サイクルの全てによって、論理ユニットまたはマイクロプロセッサによって制御される1つの調時式堆積シーケンスが形成される。

30

40

【0005】

ALDによって成長させた薄膜は緻密であり、ピンホールがなく、厚さが均一である。例えば、トリメチルアルミニウム (CH_3)₃Al (TMA) と水とから、熱ALDによって250~300で成長させた酸化アルミニウムは、直径100~200mmのウエハ全体にわたる不均一性が通常約1%である。ALDによって成長させた金属酸化物薄膜は、ゲート絶縁膜、エレクトロルミネセンス表示装置の絶縁体、磁気読取ヘッド間隙用の

50

充填層、キャパシタ絶縁膜、および不動態化層に適している。ALDによって成長させた金属窒化物薄膜は、例えばデュアルダマシン構造における、拡散障壁に適している。

【0006】

さまざまなALD反応炉におけるALDプロセスに適した前駆体は、例えば、R・プールネン(R・Puurunen)の評論記事「原子層堆積の界面化学：トリメチルアルミニウム/水プロセスのケーススタディ(Surface chemistry of atomic layer deposition: A case study for the trimethylaluminium/water process)」、ジャーナル・オブ・アプライド・フィジクス(Journal of Applied Physics)、第97巻(2005年)、p. 121301、に開示されており、この内容は参照によって本願に組み込まれるものとする。

10

【0007】

ALDプロセスにラジカルを使用することにより、感熱基板を極めて低い堆積温度で使用できるなどの、いくつかの利点をもたらされる。プラズマALD反応炉においては、プラズマ源によってラジカルを発生させる。しかし、プラズマ源の使用は、堆積反応炉に対していくつかの要件または特定の問題を引き起こすこともある。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】R・プールネン(R・Puurunen)著、「原子層堆積の界面化学：トリメチルアルミニウム/水プロセスのケーススタディ(Surface chemistry of atomic layer deposition: A case study for the trimethylaluminium/water process)」、ジャーナル・オブ・アプライド・フィジクス(Journal of Applied Physics)、第97巻(2005年)、p. 121301

20

【摘要】

【0009】

本発明の第1の例示的態様によると、
 反応室内の少なくとも1つの基板に連続自己飽和表面反応によって材料を堆積させるように構成されたプラズマ原子層堆積反応炉を作動させることと、
 堆積サイクルのほぼ全体にわたって、不活性ガス源からのガスを反応室に向かって開いた拡張型ラジカル供給部に流入させることと、
 を含む方法が提供される。

30

【0010】

「流入させる("allowing...to flow")」という表現は、実際には「導く("guiding")」、「誘導する("conducting")」、または「流入するように導く("guiding to flow")」を意味する。

【0011】

いくつかの実施形態において、堆積反応炉は、プラズマ増強原子層堆積反応炉、すなわちPEALD(plasma enhanced atomic layer deposition)反応炉、である。いくつかの実施形態において、堆積反応炉はプラズマ源を反応室の上側に備える。いくつかの実施形態において、プラズマ源は、誘導結合型プラズマ源である。いくつかの実施形態において、プラズマ源は、堆積反応炉内で反応物質として用いられるラジカルを生じさせる。いくつかの実施形態において、プラズマ源から出力される活性化された種は、ラジカルで構成される。これらの実施形態において、出力される活性化された種は、イオンを実質的に含有しないラジカルである。

40

【0012】

いくつかの実施形態において、このプラズマ原子層堆積反応炉(プラズマALD反応炉)は、プラズマALDおよび熱ALDの両方に使用されてもよい。熱ALD用の供給管路群は、ラジカルを反応室に導くプラズマALD源管路から離隔されてもよい。

【0013】

1つの堆積プロセスは、連続する1つ以上の堆積サイクルで構成される。各堆積サイク

50

ルは、熱ALD期間とこれに続くプラズマALD期間とで、またはプラズマALD期間とこれに続く熱ALD期間とで構成されてもよい。各プラズマALD期間は、プラズマALDパルス期間（ラジカル発生期間）とこれに続くプラズマALDパージ期間とでほぼ構成されてもよい。同様に、各熱ALD期間は、熱ALDパルス期間とこれに続く熱ALDパージ期間とでほぼ構成されてもよい。いくつかの実施形態において、各ALDサイクルは2つを超える数のパルス期間を含んでもよい（それぞれの後に対応するパージ期間が続いてもよい）。

【0014】

いくつかの実施形態において、本方法は、

プラズマ原子層堆積期間のうちのプラズマ前駆体パルス期間中、不活性ガス源からのガスを、プラズマ源を通してラジカル供給部に流入させることを含み、このガスは、当該パルス期間中、発生させたラジカルのキャリアガスとして機能する。

10

【0015】

いくつかの実施形態において、本方法は、

プラズマ原子層堆積期間のうちのパージ期間中、不活性ガス源からのガスを、プラズマ源を通してラジカル供給部に流入させることを含み、このガスは、当該パージ期間中、パージおよび不活性シールドガスとして機能する。

【0016】

いくつかの実施形態において、本方法は、

プラズマ原子層堆積期間および熱原子層堆積期間の両期間中、不活性ガス源からのガスを、プラズマ源を通してラジカル供給部に流入させることを含む。

20

【0017】

いくつかの実施形態において、本方法は、

不活性ガス源からのガスを、プラズマ源を迂回する経路でラジカル供給部に流入させることを含む。

【0018】

いくつかの実施形態において、本方法は、

プラズマ原子層堆積期間中、不活性ガス源からのガスを、プラズマ源を通る経路およびプラズマ源を迂回する別の経路の両経路で、ラジカル供給部に流入させることを含む。

30

【0019】

いくつかの実施形態において、本方法は、

熱原子層堆積期間中、不活性ガス源からのガスを、プラズマ源を迂回する経路のみでラジカル供給部に流入させることと、

当該期間中、プラズマ源を流れて流れる不活性ガス源からのガスを排気管路に導くことと、

を含む。

【0020】

いくつかの実施形態において、本方法は、

プラズマ原子層堆積期間中、熱原子層堆積供給管路（単数または複数）を通して不活性ガスを反応室に向けて導くことを含み、当該熱原子層堆積供給管路（単数または複数）は、当該プラズマ原子層堆積期間中、ラジカルを反応室内に導くプラズマ源管路（単数または複数）から隔離される。

40

【0021】

したがって、本堆積反応炉は、いくつかの実施形態においては、不活性ガス源から供給部までの経路を2つ備えてもよく、他の複数の実施形態においては、単一の経路のみが実装されてもよい。いくつかの実施形態においては、プラズマ源を通る経路を供給部経由で反応室まで連続させずに反応室を完全に迂回させる必要がある場合は、当該経路を閉鎖するゲート弁または匹敵する閉鎖部材によってプラズマ源を反応室から隔離してもよい。

【0022】

いくつかの実施形態において、本方法は、少なくとも1つの機械式アクチュエータによ

50

って収縮形状と伸長形状との間で変形させることができる変形可能供給部を使用することを含む。

【0023】

いくつかの実施形態において、少なくとも1つの基板を担持する基板ホルダは、変形可能な供給部に機械的に結合され、本方法は、前記変形可能な供給部を変形させることによって、少なくとも1つの基板を担持する前記基板ホルダを装填または取り出しのための上方位置に上昇させることを含む。

【0024】

本発明の第2の例示的態様によると、プラズマ原子層装置が提供される。本プラズマ原子層装置は、

不活性ガス源から反応室に向かって開いた拡張型ラジカル供給部までのガス管路と、堆積サイクルのほぼ全体にわたって当該不活性ガス源からのガスを供給部に流入させるように構成された制御システムと、を備え、

当該プラズマ原子層堆積反応炉は、反応室内の少なくとも1つの基板に連続自己飽和表面反応によって材料を堆積させるように構成される。

【0025】

いくつかの実施形態において、本装置または制御システムは、プラズマ原子層堆積期間のうちのプラズマ前駆体パルス期間中、不活性ガス源からのガスを、プラズマ源を通してラジカル供給部に流入させるように構成され、このガスは、当該パルス期間中、発生させたラジカルのキャリアガスとして機能する。

【0026】

いくつかの実施形態において、本装置または制御システムは、プラズマ原子層堆積期間のうちのパージ期間中、不活性ガス源からのガスを、プラズマ源を通してラジカル供給部に流入させるように構成され、このガスは、当該パージ期間中、パージおよび不活性シールドガスとして機能する。

【0027】

いくつかの実施形態において、本装置または制御システムは、プラズマ原子層堆積期間および熱原子層堆積期間の両期間中、不活性ガス源からのガスを、プラズマ源を通してラジカル供給部に流入させるように構成される。

【0028】

いくつかの実施形態において、本装置または制御システムは、不活性ガス源からのガスを、プラズマ源を迂回する経路でラジカル供給部に流入させるように構成される。

【0029】

いくつかの実施形態において、本装置または制御システムは、プラズマ原子層堆積期間中、不活性ガス源からのガスを、プラズマ源を通過する経路およびプラズマ源を迂回する別の経路の両経路で、ラジカル供給部に流入させるように構成される。

【0030】

いくつかの実施形態において、本装置または制御システムは、不活性ガス源からのガスを、熱原子層堆積期間中、プラズマ源を迂回する経路のみでラジカル供給部に流入させるべく、さらに、

当該期間中、プラズマ源を通過して流れる不活性ガス源からのガスを排気管路に導くべく、構成される。

【0031】

いくつかの実施形態において、本装置または制御システムは、プラズマ原子層堆積期間中、熱原子層堆積供給管路（単数または複数）を通して不活性ガスを反応室に向けて導くように構成され、この熱原子層堆積供給管路（単数または複数）は、当該プラズマ原子層堆積期間中、ラジカルを反応室に導くプラズマ源管路（単数または複数）から離隔される。

10

20

30

40

50

【0032】

いくつかの実施形態において、拡張空間を画成または形成する前記供給部は、その寸法、あるいはその形状またはサイズ、が可変である。いくつかの実施形態において、昇降機構は、前記供給部の寸法を変えるように構成される。

【0033】

いくつかの実施形態において、前記供給部はラジカルが反応室に入るときに通る部分である。いくつかの実施形態において、前記供給部は収縮形状と伸長形状とを有し、これらの形状間の移行は昇降機構（昇降機など）によって操作される。昇降機は、前記供給部を押すことによって、または引くことによって、前記伸長形状から前記収縮形状に変化させ、前記供給部がその収縮形状のときに前記少なくとも1つの基板の前記装填を可能にするように構成されてもよい。いくつかの実施形態において、前記供給部は鉛直方向に変形するように構成される。

10

【0034】

いくつかの実施形態において、前記供給部は相互に嵌入するよう移動可能な1組の入れ子部分またはリング状部材を備える。これら部分は内側が中空でもよい。入れ子部分の数は、伸縮式構造を形成するために2つ以上にしてもよい。各入れ子部分の形態は円錐台にしてもよい。前記供給部が実際に2つ以上の部分で構成される一実施形態においては、少なくとも反応空間に近い方の部分を円錐台にしてもよい。いくつかの実施形態において、前記供給部は2つの入れ子部分で構成される。

【0035】

いくつかの実施形態において、供給部は変形可能であり、本装置は、供給部を収縮形状と伸長形状との間で変形させるために、少なくとも1つの機械式アクチュエータを備える。

20

【0036】

いくつかの実施形態において、少なくとも1つの基板を担持する基板ホルダは、変形可能な供給部に機械的に結合され、前記変形可能な供給部を変形させることによって、少なくとも1つの基板を担持する前記基板ホルダを装填または取り出しのための上方位置に上昇させる。

【0037】

本発明の第3の例示的態様によると、プラズマ原子層装置が提供される。本プラズマ原子層装置は、

30

反応室内の少なくとも1つの基板に連続自己飽和表面反応によって材料を堆積させるように構成されたプラズマ原子層堆積反応炉を作動させる手段と、

堆積サイクルのほぼ全体にわたって、不活性ガス源からのガスを反応室に向かって開いた拡張型ラジカル供給部に流入させる手段と、
を備える。

【0038】

ここまで、本発明を拘束しないさまざまな例示的態様および実施形態を例示してきた。上記の各実施形態は、本発明の実装例に利用できる選択された態様またはステップを説明するためにのみ使用される。いくつかの実施形態は、本発明のいくつかの例示的態様への言及によってのみ提示されることもある。対応する実施形態を他の例示的態様にも適用できることを理解されたい。これら実施形態は、任意かつ適切に組み合わせられてもよい。

40

【0039】

次に添付の図面を参照して本発明を単なる例として説明する。

【図面の簡単な説明】

【0040】

【図1】一例示的実施形態による堆積反応炉のフレームワーク全体を示す。

【図2】一例示的実施形態による堆積反応炉のいくつかの詳細を示す。

【図3】一例示的実施形態による堆積反応炉の反応室といくつかの関連部分とを示す。

【図4】一例示的実施形態による堆積反応炉のプロセス器具類を示す。

50

【図5】図4の例示的实施形態のタイミング図の一例を示す。

【図6】別の例示的实施形態による堆積反応炉のプロセス器具類を示す。

【図7】図6の例示的实施形態のタイミング図の一例を示す。

【図8】一例示的实施形態による堆積反応炉制御システムの概略ブロック図を示す。

【詳細な説明】

【0041】

以下の説明においては、原子層堆積（ALD：Atomic Layer Deposition）技術を一例として用いる。ただし、この技術に厳密に限定することは目的としておらず、いくつかの実施形態は他の匹敵する原子スケールの堆積技術を用いる方法および装置にも適用可能であることを認識されるべきである。

10

【0042】

ALD成長メカニズムの基本は、当業者には公知である。ALD法の詳細は、本特許出願の導入部にも説明されている。ここでは、これらの詳細を繰り返さない。その点に関しては、導入部を参照されたい。

【0043】

図1は、堆積反応炉（プラズマALD反応炉など）の側面図である。本堆積反応炉は、基板移送室の下方、ALD反応炉モジュール130の内部に反応室（図1には図示せず）を備える。原料ガスがキャリアおよびパージガス管路101を通過して反応室の上側にあるプラズマ源110に流入する。プラズマ源110によって原料ガスから発生させたラジカルが反応室供給管路またはプラズマ源管路102を通過して反応室に向かって流れる。プラズマ源110と反応室との間に基板移送室120がある。少なくとも1つの基板が移送室120を介して反応室内に装填される。基板移送室120は、前記少なくとも1つの基板を装填するためのロードロックの取り付け部を備える。一例示的实施形態において、この取り付け部は、ゲート弁を有するロードロックを取り付け可能なロードロックフランジ122などでもよい。一例示的实施形態において、少なくとも1つの基板を移送室内へ装填する手順は、自動化されてもよい。あるいは、少なくとも1つの基板を手動で装填してもよい。移送室に組み込まれた大型ハッチ123は、室内圧力下での手動装填および取り出しに特に適している。

20

【0044】

プラズマ源からのプラズマ源管路102は、プラズマ源管路102に取り付けられたゲート弁などの閉鎖部材または弁115（以降、ゲート弁115と称する）によって移送室120の前で閉鎖されてもよい。弁115が開いているとき、プラズマ源110によって原料ガスから発生させたラジカルがプラズマ源管路102を通過して反応室に向かって流れる。ラジカルは、移送室の上側フランジ121を通り、反応室に向かって広がる拡大空間（図1に図示せず）に流入する。これは、および他のさらなる詳細は、図2により詳細に示されている。図6および関連の説明により詳細に示されているような一実施形態においては、閉鎖部材または弁115を本構成から省いてもよい。この場合は、堆積プロセス中、原料ガス管路101からの保護用不活性ガス（アルゴンなど）がプラズマ発生器110を通過して反応空間（331、図3）に向かって流れる。

30

40

【0045】

拡張空間は、相互に嵌合するよう移動可能な入れ子部分またはリング状部材を1組備えた供給部または組立体によって画成または形成される。図2に示されている実施形態において、入れ子部分の数は2つである。部分241および242は、伸縮式構造を形成する。図2に示されている例示的实施形態において、上側部分241は移送室の上側フランジ121に取り付けられる。フランジ121は、真空室フランジとも称される。その理由は、一般には、供給部を取り囲む移送室部分内に真空またはほぼ真空状態を生じさせることができるためである。図2に示されている例示的实施形態において、下側部分242は、拡張空間のフランジ224に取り付けられる。フランジ224は、堆積中、反応室のフランジ234に実質的に封密嵌着されて反応空間（331、図3）と反応室（335、図3

50

)を取り囲むガス空間との間のガス漏れを防止する。

【0046】

図2に示されている実施形態においては、昇降機250のリトラクタブルシャフトが拡張空間のフランジ224に、または供給部に直接、取り付けられる。昇降機250の本体も移送室の上側フランジ121に、または堆積反応炉内の別の適した対応物に、取り付けられてもよい。昇降機250は、例えば、蛇腹251などによって少なくとも部分的に覆われたリトラクタブル硬質シャフトによって作動する昇降機でもよい。一実施形態において、この構成は、空圧式またはリニアアクチュエータと拡張空間のフランジ224または供給部との間に、鉛直方向に可撓性の封密カバーを形成する。一実施形態においては、供給部と拡張空間のフランジとを基板ホルダと一緒に真空内で移動させるために、大気側から制御されるリニアフィードスルーが用いられる。

10

【0047】

図2に示されている堆積反応炉は、プラズマ源管路102と流体連通する任意使用の排気管路207を有する。排気管路207は、プラズマ源110とゲート弁115との間のプラズマ源管路102部分において、プラズマ源管路102に接合される。

【0048】

さらに、図2に示されている堆積反応炉は、プラズマ源管路102と流体連通する任意使用のシールドガス管路204を有する。このシールドガス管路内を流れる不活性シールドガスは、上流方向への粒子またはガス流を防止する。シールドガス管路204は、ゲート弁115より後方のプラズマ源管路102部分において、プラズマ源管路102に接合される。一実施形態において、シールドガス管路204は、ゲート弁115に下流側で直接隣接する部分において、プラズマ源管路102に接合される。

20

【0049】

一代替実施形態において、拡張空間のフランジ224は供給部から独立せずに供給部の一部を形成し、ひいては供給部の底部を形成する。この実施形態における底部は、反応室に対するリムシールとして機能する。他方、この底部は、昇降機250(昇降機のシャフト)の取り付け箇所として機能する。

【0050】

反応室335の反応空間331において、水平に載置された少なくとも1つの基板360は、図3に示されているように、基板ホルダ361によって支持される、すなわち基板ホルダ361上に位置する。一実施形態において、基板ホルダは2つの独立した区間を備える。これら区間の間の解離間隙は、基板フォークをこれら区間の間で自由に移動させるために十分である。基板ホルダ361は、複数のホルダ支持部362によって拡張空間のフランジ224に取り付けられる。一例示的实施形態において、基板ホルダ361は、拡張空間のフランジ224と共に移動するように構成される。一実施形態において、昇降機の蛇腹251の最下部は、シャフトに封密結合される。アクチュエータによって昇降機の蛇腹251内のシャフトを引っ張ると、昇降機の蛇腹251が収縮する。これにより、基板操作領域とその周囲環境とを真空に維持したまま、少なくとも1つの基板360または基板ホルダ361を装填または取り出しのために引き上げることができる。部分242が摺動して小さい方の部分241に被さると、部分241および242を備えた供給部は鉛直方向に収縮し、移送室120(図1)を介した装填および取り出し用のスペースを空ける。2つの昇降機など、複数の昇降機を存在させることもできる。第2の昇降機の昇降機蛇腹351が図3に点線で示されている。

30

40

【0051】

一実施形態において、基板ホルダ361は、拡張空間のフランジ224に取り外し可能に取り付け可能である。これにより、基板ホルダ361は、引き上げられたとき、少なくとも1つの基板360と共に装填または取り出し可能である。同様に、基板ホルダに鉛直方向に載置された1バッチ分の基板の堆積反応炉への装填および堆積反応炉から取り出しも可能である。

【0052】

50

少なくとも1つの基板360への材料の堆積は、反応室335の反応空間331における交替式連続自己飽和表面反応によって起こる。あるいは、プラズマ源110(図1および図2)からのラジカルと他の前駆体蒸気とが反応室335の反応空間331に流れる。プラズマ源110からのラジカルは、拡張空間を通る上から下への流れ301として反応空間331に流れる。他の前駆体蒸気は、供給管路371から例示的管継手381と反応室のフランジ234内のチャンネル373とを通過して流れるか、または供給管路372から例示的管継手382と反応室のフランジ234内のチャンネル374とを通過して流れる。反応炉の一般的構成において、供給管路の数は、例えば4または6である。あるいは、プラズマの発生を遮断し、他の前駆体を、プラズマ源管路102を通して反応室335に流入させることも可能である。排出ガスは、矢印305によって流れの方向が示されているように、底部の排気誘導管を通過して排気管路に除去される。

10

【0053】

一実施形態において、プラズマ発生器(プラズマ源110)と基板ホルダ361との間のガス空間は、プラズマ発生器によって発生させたラジカルの大部分が、基板360の前に何れの表面にも衝突せずに基本的にそのままの状態では基板に到達できるように、開けたガス空間でほぼ構成される。

【0054】

図4は、一例示的实施形態による堆積反応炉のプロセス器具類を示す。不活性("inert"または"inactive")ガス源からの不活性ガス流は、キャリアおよびパージガス管路101を通過して流れるキャリアおよびパージガス流と、シールドガス管路204を通過して流れるシールドガス流とに分割される。一実施形態においては、アルゴンまたはヘリウムなどが不活性ガスとして用いられる。キャリアおよびパージガス管路101は、キャリアおよびパージ弁410によって開閉可能である。作動中、弁410のデフォルト位置は「開」である。シールドガス管路204は、シールドガス弁416によって開閉可能である。作動中、弁416のデフォルト位置は「開」である。キャリアおよびパージガス管路101内の流量は質量流量制御装置(MFC: Mass Flow Controller)431によって制御され、シールドガス管路204内の流量は、質量流量制御装置432によって制御される。シールドガス管路204は、ゲート弁115の下流でプラズマ源管路102に接合される。作動中、ゲート弁のデフォルト位置は「開」である。複合流は、プラズマ源管路102を通過して流れ、拡張空間425を通過して反応室335に入る。排出ガスを反応空間331から排気管路にパージするために、真空ポンプ438が用いられる。プラズマ源管路内の圧力が遠隔プラズマ発生器の作動に適した範囲内にあることを検証するために、圧力変換器PT(Pressure Transducer)が用いられる。

20

30

【0055】

キャリアおよびパージ弁410の下流において、プラズマ源110に入る前に、キャリアおよびパージガスはプラズマ源前駆体パルス送出弁411~414を通過して流れる。一実施形態において、これらの弁は三方弁である。キャリアおよびパージガスは、パルス送出弁の第1の入口に流入し、出口から出る。この文脈においては、パルス送出弁411~414を通過してキャリアおよびパージガス管路101に流入可能であり、かつその後にはプラズマ源110においてラジカルを発生させるために使用可能な前駆体をプラズマ源前駆体と称する。所望のプラズマ源前駆体は、適用される堆積サイクルに応じて、質量流量計(MFM: Mass Flow Meter)を介して、および毛細管またはニードル弁を通過して、対応するパルス送出弁の第2の入口に導かれる。作動中、弁411~414のデフォルト位置は、第1の入口と出口とが「開」であり、第2の入口が「閉」である。第2の入口は、選択されたプラズマ源前駆体のプラズマ前駆体パルス期間中のみ開く。

40

【0056】

図4に示されている実施形態において、窒素ガス、水素ガス、アンモニアガス、および酸素ガスは、プラズマ源前駆体の例である。質量流量計MFM441は、窒素ガス源から毛細管またはニードル弁451を通過して窒素パルス送出弁411に向かう窒素ガスの流量

50

を計測する。同様に、M F M 4 4 2 は、水素ガス源から毛細管またはニードル弁 4 5 2 を通って水素パルス送出弁 4 1 2 に向かう水素ガスの流量を計測する。M F M 4 4 3 は、アンモニアガス源から毛細管またはニードル弁 4 5 3 を通ってアンモニアパルス送出弁 4 1 3 に向かうアンモニアガスの流量を計測する。M F M 4 4 4 は、酸素ガス源から毛細管またはニードル弁 4 5 4 を通って酸素パルス送出弁 4 1 4 に向かう酸素ガスの流量を計測する。M F M 4 4 1 ~ 4 4 4 は、プラズマ源前駆体の質量流量が所望値に落ち着くことを検証するために用いられる。この所望値は、毛細管またはニードル弁 4 5 1 ~ 4 5 4 の上流側のプラズマ源前駆体の圧力によって、さらには毛細管のオリフィス寸法によって、またはニードル弁 4 5 1 ~ 4 5 4 の調整によって制御される。パルス送出弁の第 2 の入口が開くと、対応するプラズマ源前駆体はキャリアガス流と混合され、ラジカルを発生させるためにプラズマ源 1 1 0 に向かってさらに流れる。

10

【 0 0 5 7 】

プラズマ源 1 1 0 の下流かつゲート弁 1 1 5 の上流においてプラズマ源管路 1 0 1 に接合される排気管路 2 0 7 は、平常作動中は使用されない。したがって、排気弁 4 1 7 (排気管路 2 0 7 を開閉できる弁) のデフォルト位置は「閉」である。

【 0 0 5 8 】

図 4 には、例えば熱 A L D 期間中、他の前駆体蒸気を反応室 3 3 5 に流入させる、図 3 に見えている他の供給管路 3 7 1 および 3 7 2 も示されている。

【 0 0 5 9 】

図 5 は、一例示的实施形態による図 4 の堆積反応炉の動作をタイミング図によって示す。この堆積プロセスは、基本的に、堆積サイクルの繰り返しによって形成される。時点 t_1 において、プラズマ源管路 1 0 2 のゲート弁 1 1 5 は開かれる。ゲート弁 1 1 5 は、堆積プロセス全体にわたって開かれている。時点 t_2 において、キャリアおよびパージガス管路 1 0 1 の遮断弁 (キャリアおよびパージ弁 4 1 0) が開かれる。キャリアおよびパージガス管路 1 0 1 の M F C 4 3 1 は、処理値、例えば 5 0 s c c m、に設定される。時点 t_3 において、シールドガス管路 2 0 4 の M F C 4 3 2 は、高い値から低い値、例えば 2 0 s c c m、に設定される。 t_3 と t_4 の間の時間は、反応室 3 3 5 のパージに使用可能である。時点 t_4 において、(非金属) プラズマ源前駆体のパルス送出弁が開かれる。図 5 に示されている例では、水素ガスがプラズマ源前駆体として用いられるので、パルス送出弁 4 1 2 が開かれるのは時点 t_4 である。時点 t_5 において、プラズマ発生器 (プラズマ源 1 1 0) の電力がラジカル発生レベル、例えば 2 0 0 0 W、に上げられる。一実施形態において、本願明細書に記載の電力は、高周波 (R F : r a d i o f r e q u e n c y) 電力である。 t_5 と t_6 の間の時間にラジカルが発生する。換言すると、時点 t_5 と時点 t_6 の間にプラズマ A L D フェーズが実施される。時点 t_6 において、プラズマ発生器 (プラズマ源 1 1 0) の電力は、ラジカルが発生しないレベル、例えば、1 0 0 W 未満の電力に下げられる。時点 t_7 において、プラズマ源前駆体のパルス送出弁 (ここでは弁 4 1 2) が閉じられる。時点 t_8 において、シールドガス管路 2 0 4 の M F C 4 3 2 が低い値から高い値に設定される。 t_7 と t_9 の間の時間は、反応室 3 3 5 のパージに使用可能である。時点 t_9 において、第 2 の前駆体蒸気が反応室 3 3 5 に導かれる。本実施形態において、第 2 の前駆体は金属前駆体である。 t_9 と t_{10} の間に、第 2 の前駆体パルスフェーズが実施される。 t_9 と時点 t_{10} の間の時間は、第 2 の前駆体パルスと、余分な第 2 の前駆体分子と反応副生成物とを反応空間 3 3 1 から除去するための第 3 のパージ期間とで構成されてもよい。このとき、ゲート弁 1 1 5 および遠隔プラズマ発生器 1 1 0 側への反応性分子の逆流を防止するために、シールドガス管路 2 0 4 を通るシールドガスの質量流量は高い値にある。これは、それ自体は公知である従来の熱 A L D 方法として実施可能である。 t_3 と t_4 の間のパージ期間と、 t_5 と t_6 の間のプラズマ A L D フェーズと、 t_7 と t_9 の間の第 2 のパージ期間と、 t_9 と t_{10} の間の熱 A L D フェーズとによって形成される本堆積サイクルは、反応室 3 3 5 内の少なくとも 1 つの基板上に所望の厚さの材料が成長するまで繰り返される。最後に、時点 t_{11} において、キャリアおよびパージ弁 4 1 0 が閉じられ、キャリアおよびパージガス管路 1 0 1 の M F C 4 3 1 がゼロ値

20

30

40

50

に設定される。最後に、ゲート弁 115 が時点 t_{12} において閉じられる。

【0060】

一代替実施形態は、例えば、或る理由により、堆積プロセス中、プラズマ源管路 102 をゲート弁 115 によって閉じることが望ましい状況に関する。この状況が起こりうるのは、例えば、熱ALDフェーズ中か、または反応炉で熱ALDフェーズのみで堆積プロセスを実施することが望ましい場合である。これらの実施形態においては、パルス送出弁 411 ~ 414 とプラズマ源 110 とを通過して反応空間 331 に至る経路が閉じられる。プラズマ源 110 において定圧が維持されることが好ましいので、定圧を維持するために、排気管路の弁 417 は開かれ、プラズマ源 110 を通るガス流が排気管路 207 を通って排気管路に直接導かれる。シールドガス管路 204 から流れるシールドガスが遮蔽用緩衝体を形成し、反応室 335 の方向からゲート弁 115 の方向への粒子およびガス流の上昇を防止する。

10

【0061】

図 6 は、別の例示的实施形態による堆積反応炉のプロセス器具類を示す。図 6 に示されている実施形態は、ゲート弁 115 と、関連する排気管路 207 と、シールドガス管路 204 と、キャリアおよびパージ弁 410 とを含まない点以外は、図 4 に示されている実施形態に対応する。

【0062】

いくつかの実施形態において、酸素ガスから発生させた酸素ラジカルは、第 3 族金属類の酸化物（例えば酸化イットリウム）、第 4 族金属類の酸化物（例えば二酸化ハフニウム）、第 5 族金属類の酸化物（例えば五酸化タンタル）、および第 13 族金属類の酸化物（例えば酸化アルミニウム）などの金属酸化物を成長させるために用いられる。アンモニアガスから発生させたアンモニアラジカルと窒素ガスから発生させた窒素ラジカルとは、第 4 族金属類の窒化物（例えば窒化チタン）、第 5 族金属類の窒化物（例えば窒化タンタルおよび超伝導窒化ニオブ）、および第 14 族元素の窒化物（例えば窒化珪素）などの金属窒化物を成長させるために用いられる。水素ガスから発生させた水素ラジカルは、第 4 族金属類（例えばチタン）、第 5 族金属類（例えばタンタル）、第 6 族金属類（例えばタングステン）、および第 11 族金属類（例えば銀）などの元素薄膜を成長させるための還元剤として用いられる。揮発性炭化水素は、第 4 族金属類の炭化物（例えば炭化チタン）などの金属炭化物を成長させるための炭化水素ラジカルの発生に利用される。

20

30

【0063】

図 7 は、一例示的实施形態による図 6 の堆積反応炉の動作をタイミング図によって示す。時点 t_A において、キャリアおよびパージガス管路 101 の MFC 431 は、好ましくは 10 ~ 200 sccm の範囲内、より好ましくは 20 ~ 100 sccm の範囲内、の処理値、例えば 50 sccm、に設定される。 t_B と t_C の間の時間は、熱ALDモードにおいては約 50 ~ 500 の範囲内から選択された温度、例えば TMA が金属前駆体として用いられる場合は 200、に加熱された反応空間 331 に金属前駆体蒸気、例えばトリメチルアルミニウム (TMA)、をパルス送出するために用いられる。 t_C と t_D の間の時間は、プラズマ源管路 102 からのアルゴンまたはヘリウムガスと供給管路 371、372 からの窒素ガスとで構成される不活性ガスによって反応空間 331 をパージするために用いられる。時点 t_D において、(非金属)プラズマ源前駆体のパルス送出弁が開かれる。図 6 に示されている利用可能なプラズマ源ガス群から酸素ガスが選択されるので、時点 t_D において開かれる弁はパルス送出弁 414 である。時点 t_E において、プラズマ発生器 (プラズマ源 110) の電力がラジカル発生レベルに上げられる。酸素ラジカルを発生させる場合は、100 ~ 3000 W の範囲から選択された RF 電力、例えば 2000 W、に上げられる。 t_E と t_F の間の時間にラジカルが発生する。換言すると、時点 t_E と t_F の間にプラズマ ALD フェーズが実施される。時点 t_F において、プラズマ発生器 (プラズマ源 110) の電力は、ラジカルが発生されないレベル、好ましくは 100 W 未満の電力、例えば 0 W、に下げられる。時点 t_G において、プラズマ源前駆体のパルス送出弁 (ここでは、酸素ガス弁 414) が閉じられる。 t_G と t_H の間の時間は、システム

40

50

を不活性ガスでパージするために用いられる。金属前駆体パルスと、パージと、ラジカル前駆体パルスと、パージとで構成される時点 t_B から時点 t_H までの堆積サイクルは、所望厚の薄膜が基板 360 上に成長するまで繰り返される。

【0064】

なお、本願明細書に提示された実施形態の変形例もいくつか実施できることに注目されたい。図4に示されている構成においては、堆積サイクルは、図5に示されている順番または図7に示されている順番等で実施されてもよい。

【0065】

いくつかの実施形態においては、プラズマALD期間のうちのプラズマ前駆体パルス期間中、ガスが不活性ガス源からプラズマ発生器(プラズマ源110)を通過してラジカル供給部(または拡張空間425)に流入するように導かれる。このガスは、当該パルス期間中、発生させたラジカルのキャリアガスとして機能する。いくつかの実施形態において、プラズマALD期間のうちのパージ期間中、ガスが不活性ガス源からプラズマ発生器を通過して拡張空間425に流入するように導かれる。このガスは、当該パージ期間中、不活性またはパージガスとして機能する。いくつかの実施形態においては、これら両期間中、ガスが上記のように導かれる。いくつかの実施形態においては、これら両期間中、さらに不活性ガス源からのガスがシールドガス管路204を通過して拡張空間425内に導かれる。いくつかの実施形態においては、例えば熱ALD期間中、不活性ガス源からのガスは、両経路を通過して、または(例えば、プラズマ発生器から拡張空間425への経路が閉じられている場合は)シールドガス管路204のみを通過して、拡張空間425内に導かれる。さらに、プラズマ発生器から拡張空間425への経路が別様に閉じられている場合、いくつかの実施形態においては、不活性ガス源からのガスは、これら期間中、シールドガス管路204を通過して拡張空間425内に導かれる。これにより不活性ガス流が途切れずに拡張空間425に流入するため、逆流作用が防止される。プラズマ発生器から拡張空間425への経路が閉じられると、不活性ガス源からプラズマ発生器を通過して流れるガスは、いくつかの実施形態においては、当該期間中、プラズマ発生器内の定圧を維持するように排気管路に導かれる。

【0066】

以下の実験例は、選択された複数の例示的実施形態の動作をさらに実証する。

【実施例1】

【0067】

100mmのシリコンウエハを図3に示されている複式昇降機によって反応室335に装填した。トリメチルアルミニウムTMAと水H₂Oとからの酸化アルミニウムAl₂O₃を200でシリコンウエハ上に成長させるために、図6による堆積反応炉の器具類と図7のタイミング図とを用いた。キャリアおよびパージガス管路101を通るアルゴンガスの流量は30sccmであった。TMAパルス長は0.1秒であり、この後に6秒間のパージが続いた。酸素ガスパルス送出弁414を開き、50sccmの酸素ガスを、パルス送出弁414を介して遠隔プラズマ発生器110に流した。プラズマをオンにするためにRF電力を0Wから2500Wに上げ、2500Wレベルに6秒間維持した。その後、プラズマをオフにするために、RF電力を2500Wから0Wに下げた。次に、酸素ガス弁を閉じ、システムを不活性ガスで10秒間パージした。36nm厚のAl₂O₃薄膜が成長するまで、この堆積サイクルを繰り返した。この結果、楕円偏光計によって49箇所

【0068】

一例示的実施形態において、本願明細書に記載の堆積反応炉は、コンピュータ制御のシステムである。システムのメモリに格納されたコンピュータプログラムはいくつかの命令を含む。これら命令は、システムの少なくとも1つのプロセッサによって実行されると、命令どおりに堆積反応炉を作動させる。これら命令は、コンピュータ可読プログラムコードの形態でもよい。図8は、堆積反応炉制御システム800の概略ブロック図を示す。基本的なシステムセットアップ工程においては、ソフトウェアの助けによりパラメータがブ

10

20

30

40

50

プログラミングされ、ヒューマンマシンインタフェース（HMI：human machine interface）端末806によって命令が実行され、イーサネットバス804を介して制御ボックス802にダウンロードされる。一実施形態において、制御ボックス802は、汎用プログラマブル論理制御（PLC：programmable logic control）ユニットを備える。制御ボックス802は、メモリに格納されたプログラムコードを含む制御箱ソフトウェアを実行するための少なくとも1つのマイクロプロセッサと、ダイナミックおよびスタティックメモリと、I/Oモジュールと、A/DおよびD/Aコンバータと、複数の電源リレーとを備える。制御ボックス802は、堆積反応炉の各弁の空圧式制御装置に電力を送り、質量流量制御装置との双方向通信を有し、プラズマ源の作動およびラジカルの発生、ならびに昇降機の動作を制御するほか、堆積反応炉の作動を別様に制御する。制御ボックス802は、堆積反応炉からのプローブ読み取り値を測定してHMI端末806に中継してもよい。点線816は、堆積反応炉の各部と制御ボックス802との間の境界線を示す。

10

【0069】

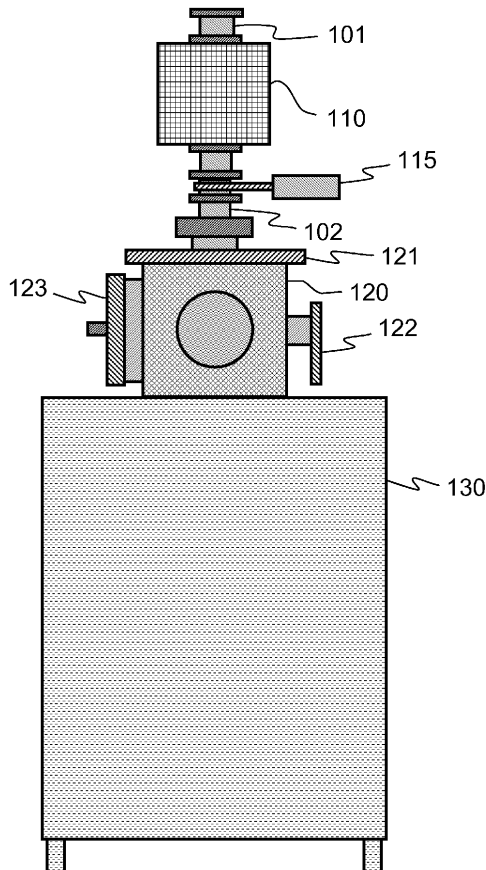
上記の説明は、本発明の特定の実装例および実施形態の非限定例として、本発明の実施のために本発明者らが現時点で最良と考えている形態についての完全かつ有益な説明を提供した。ただし、本発明は上記の実施形態の詳細に限定されず、本発明の特性から逸脱することなく他の実施形態において同等の手段を用いて実現することも可能であることは当業者には明らかである。

【0070】

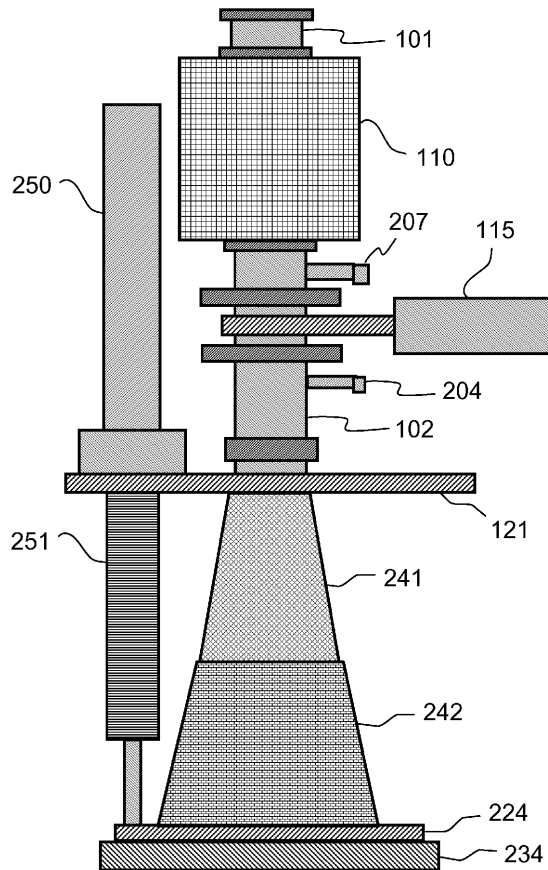
さらに、本発明の上記実施形態の特徴のいくつかは、他の特徴を同様に使用することなく効果的に使用されてもよい。したがって、上記説明は、本発明を限定するものではなく、本発明の原理の単なる例示として考えられたい。よって、本発明の範囲は添付の特許請求の範囲によってのみ限定される。

20

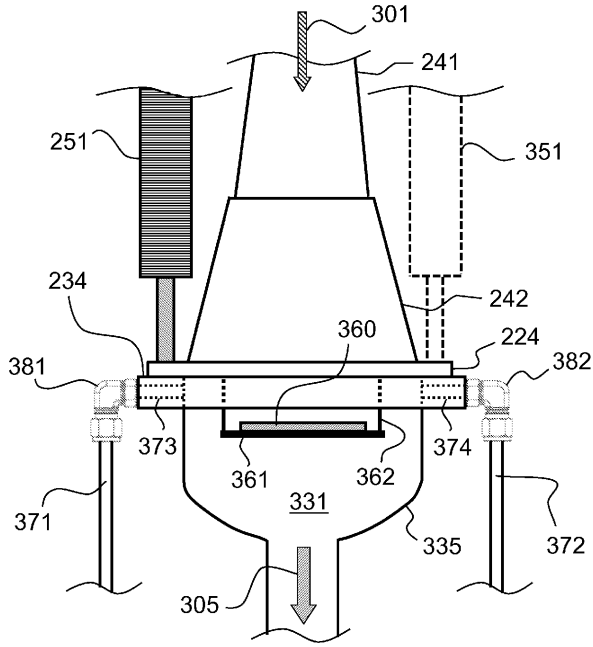
【図1】



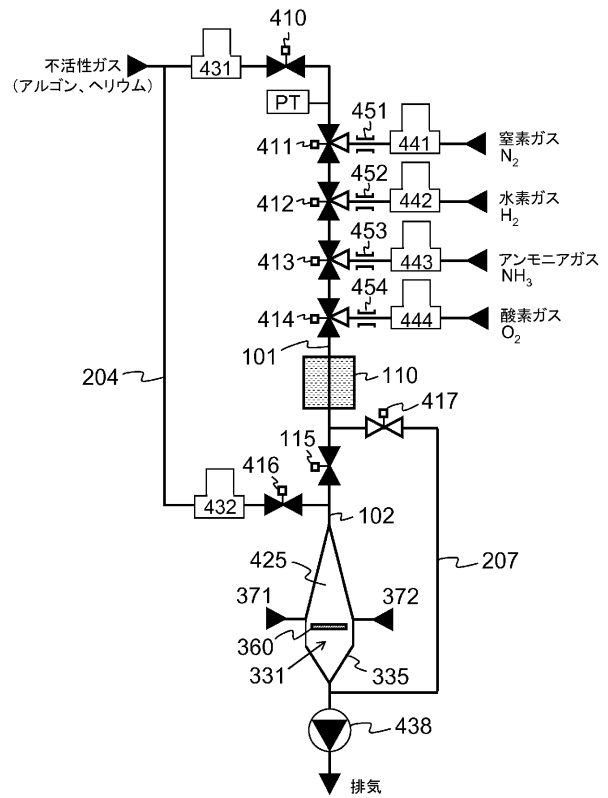
【図2】



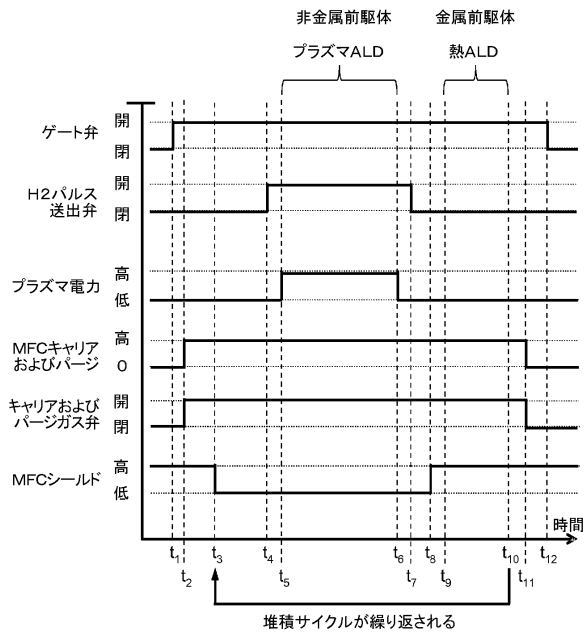
【図3】



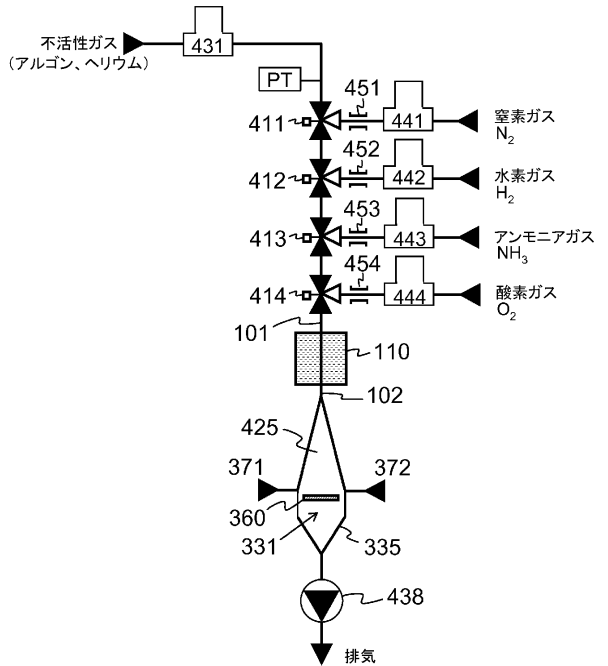
【図4】



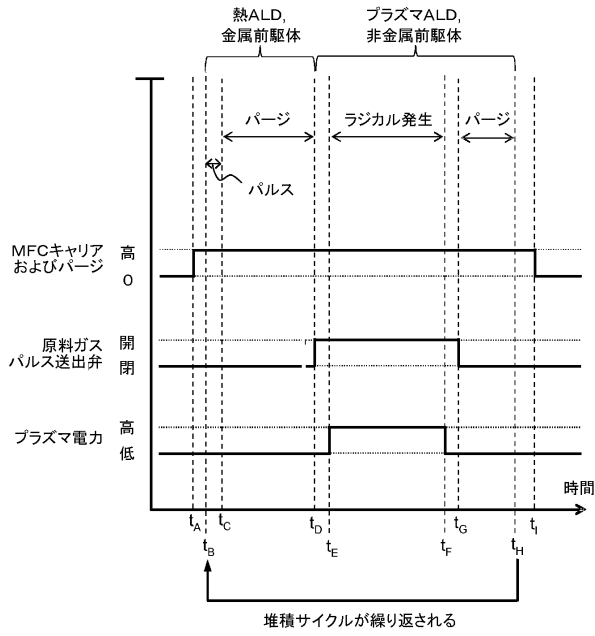
【図5】



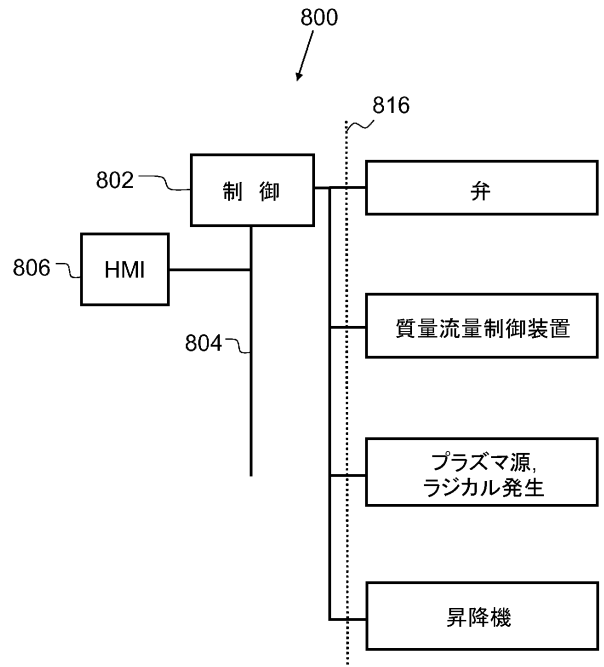
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

- (72)発明者 リー ウェイ - ミン
フィンランド共和国 F I - 0 2 2 6 0 エスポー ヒュリイェマエンポルッティ 1 A
- (72)発明者 マリネン ティモ
フィンランド共和国 F I - 0 2 9 4 0 エスポー クニンカーンティエ 3 3 B
- (72)発明者 コスタモ ユハナ
フィンランド共和国 F I - 0 2 2 6 0 エスポー ノルッパティエ 4 C 1 1
- (72)発明者 リンドフォース スヴェン
フィンランド共和国 F I - 0 2 2 3 0 エスポー ヌオッタミエヘンティエ 8

審査官 正山 旭

- (56)参考文献 再公表特許第 2 0 0 7 / 0 6 6 4 7 2 (J P , A 1)
米国特許出願公開第 2 0 1 0 / 0 1 8 3 8 2 5 (U S , A 1)
特開 2 0 0 8 - 1 0 9 0 9 1 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 2 7 7 7 6 2 (J P , A)
特開 2 0 0 7 - 1 6 2 1 3 1 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H 0 1 L 2 1 / 3 1 6
C 2 3 C 1 6 / 4 5 5
H 0 1 L 2 1 / 3 1