

(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2017-92454

(P2017-92454A)

(43) 公開日 平成29年5月25日(2017.5.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H O 1 L 21/205 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/205	4 K O 3 O
<b>C 2 3 C 16/455 (2006.01)</b>	C 2 3 C 16/455	5 F O 4 5
<b>C 2 3 C 16/50 (2006.01)</b>	C 2 3 C 16/50	5 F O 5 8
<b>C 2 3 C 16/48 (2006.01)</b>	C 2 3 C 16/48	
<b>H O 1 L 21/31 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/31	B
審査請求 有 請求項の数 34 O L 外国語出願 (全 58 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2016-185221 (P2016-185221)  
 (22) 出願日 平成28年9月23日 (2016. 9. 23)  
 (31) 優先権主張番号 62/233, 575  
 (32) 優先日 平成27年9月28日 (2015. 9. 28)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 502400304  
 ウルトラテック インク  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5  
 1 3 4 サンノゼ ザンカーロード 3 0  
 5 0  
 (74) 代理人 100136319  
 弁理士 北原 宏修  
 (74) 代理人 100147706  
 弁理士 多田 裕司  
 (74) 代理人 100148275  
 弁理士 山内 聡  
 (74) 代理人 100142745  
 弁理士 伊藤 世子

最終頁に続く

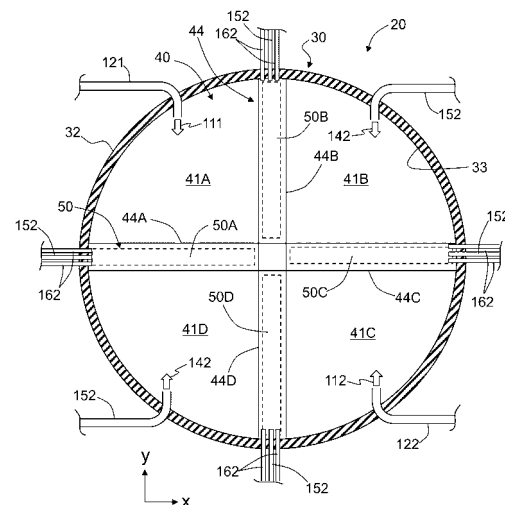
(54) 【発明の名称】 高スループットの複数チャンバ原子層堆積システムおよび方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】高スループットを有するA L D (原子層蒸着) システムおよび方法を提供する。

【解決手段】A L Dシステムは、処理チャンバ20を持つ。処理チャンバは、内部チャンバ仕切り44によって規定される複数のチャンバ区画を有する。処理されるウエハは、プラテンに支持される。プラテンは、処理チャンバハウジング30との間に僅かな空隙を有しつつ、処理チャンバハウジングの真下で回転する。これにより、ウエハは、チャンバ区画間を移動する。複数のチャンバ区画は、仕切りおよび空気弁50によって空気圧で仕切られる。空気弁は、仕切り内に動作可能に配置され、空隙でプラテン表面と空気連通している。チャンバ区画は、処理ガスを使用してA L D処理を実行するために使用する。一方、その他のチャンバ区画は、パージガスを含む移行部である。いくつかのチャンバ区画は、ウエハを通過させてレーザ処理またはプラズマ処理を実行するために採用する。

【選択図】 図2



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

複数のウエハ上で原子層蒸着（ALD）を実行するための複数チャンバALDシステム用の処理チャンバであって、

ハウジングと、回転可能なプラテンと、空気弁とを備え、

前記ハウジングは、内部を有し、前記内部は、該内部に配置されたチャンバ仕切りによって複数のチャンバ区画に分割され、前記ハウジングは、開放底端部を有し、

前記回転可能なプラテンは、中心軸と上面とを有し、前記上面は、前記複数のウエハを支持し、前記回転可能なプラテンは、前記ハウジングの前記底端部に隣接するその上面とともに動作可能に配置され、空隙によって前記ハウジングから離間されており、前記回転可能なプラテンは、回転可能であり、前記複数のチャンバ区画間で前記ウエハを移動させ、

前記空気弁は、各チャンバ仕切りに動作可能に配置され、各空気弁は、前記空隙内で前記回転可能なプラテンの前記上面と空気連通し、隣接するチャンバ区画間に空気仕切りを形成する、  
処理チャンバ。

**【請求項 2】**

前記ハウジングの内部は、円形断面を有する、請求項 1 に記載の処理チャンバ。

**【請求項 3】**

前記空隙は、50 ミクロンから 500 ミクロンの間である、請求項 1 または 2 に記載の処理チャンバ。

**【請求項 4】**

前記回転可能なプラテンは、10 回転 / 分から 200 回転 / 分の間の回転速度で回転するように構成される、請求項 1 から 3 の何れか 1 項に記載の処理チャンバ。

**【請求項 5】**

前記チャンバ仕切りは、3 から 8 の間のチャンバ区画を規定する、請求項 1 から 4 の何れか 1 項に記載の処理チャンバ。

**【請求項 6】**

各空気弁は、

i) 2 個の真空チャンネルに挟まれた中央パージガスチャンネル、または、

ii) 2 個のパージガスチャンネルに挟まれた中央真空チャンネル

のうちの何れかを含む、請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載の処理チャンバ。

**【請求項 7】**

前記複数のチャンバ区画は、第 1 および第 2 処理チャンバ区画と、第 1 および第 2 非処理チャンバ区画とを含み、

前記第 1 および第 2 処理チャンバ区画は、隣接しておらず、第 1 および第 2 処理ガス源に動作可能にそれぞれ接続されており、

前記第 1 および第 2 非処理チャンバ区画は、隣接しておらず、パージガス源に動作可能に接続されている、

請求項 1 から 6 の何れか 1 項に記載の処理チャンバ。

**【請求項 8】**

前記複数のチャンバ区画の少なくとも一つに対して動作可能に配置されるレーザシステムをさらに備える、請求項 1 から 7 の何れか 1 項に記載の処理チャンバ。

**【請求項 9】**

前記複数のチャンバ区画の少なくとも一つに対して動作可能に配置されるプラズマ源システムをさらに備える、請求項 1 から 8 の何れか 1 項に記載の処理チャンバ。

**【請求項 10】**

各チャンバ区画は、単一のウエハを収容するように構成される、請求項 1 から 9 の何れか 1 項に記載の処理チャンバ。

**【請求項 11】**

10

20

30

40

50

前記ウエハは厚み  $T H_w$  をそれぞれ有し、  
各チャンバ区画は、 $10 \cdot T H_w \leq H \leq 50 \cdot T H_w$  の範囲内の内部高さ  $H$  を有する、  
請求項 1 から 10 の何れか 1 項に記載の処理チャンバ。

【請求項 12】

前記空気弁は、 $V - P - V$  空気配置または  $P - V - P$  空気配置の何れかを含み、  
前記  $V$  は真空を意味し、前記  $P$  は圧力を意味する、  
請求項 1 から 11 の何れか 1 項に記載の処理チャンバ。

【請求項 13】

請求項 1 から 12 の何れか 1 項に記載の処理チャンバと、  
処理ガスシステムと、  
パージガスシステムと  
を備え、  
前記処理ガスシステムは、前記チャンバ区画の少なくとも 2 つに動作可能に接続され、  
前記パージガスシステムは、前記処理ガスシステムに動作可能に接続された前記少なくとも 2 つのチャンバ区画とは異なるチャンバ区画の少なくとも 2 つに動作可能に接続される、  
複数チャンバ ALD システム。

【請求項 14】

i) 前記チャンバ区画の少なくとも一つに対して動作可能に接続されるレーザシステム  
、および、  
ii) 前記チャンバ区画の少なくとも一つに対して動作可能に接続されるプラズマ源システム  
のうちの少なくとも一つをさらに備える、請求項 13 に記載の複数チャンバ ALD システム。

【請求項 15】

前記処理ガスシステムは、第 1 および第 2 処理ガス供給部を含み、前記第 1 および第 2 処理ガス供給部は、第 1 および第 2 処理ガスをそれぞれ含む、請求項 13 また 14 に記載の複数チャンバ ALD システム。

【請求項 16】

前記複数のチャンバ区画は、4 つのチャンバ区画で構成される、請求項 13 から 16 の何れか 1 項に記載の複数チャンバ ALD システム。

【請求項 17】

前記ウエハは厚み  $T H_w$  をそれぞれ有し、各チャンバ区画は、 $10 \cdot T H_w \leq H \leq 50 \cdot T H_w$  の範囲内の内部高さ  $H$  を有する、請求項 13 から 16 の何れか 1 項に記載の複数チャンバ ALD システム。

【請求項 18】

前記空隙は、50 ミクロンから 500 ミクロンの間の範囲内である、請求項 13 から 17 の何れか 1 項に記載の複数チャンバ ALD システム。

【請求項 19】

各チャンバ区画は、単一のウエハを収容するように構成される、請求項 13 から 18 の何れか 1 項に記載の複数チャンバ ALD システム。

【請求項 20】

表面をそれぞれ有する複数のウエハ上に原子層堆積 (ALD) を実行して各ウエハ上に ALD 膜を形成する方法であって、

複数のチャンバ区画を含む処理チャンバハウジングから 500 ミクロン以下の空隙  $G$  を有して離間しているプラテンの表面に複数のウエハを支持することと、

前記チャンバ区画を空気圧で仕切ることと、

前記処理チャンバハウジングの真下で前記プラテンを回転させ、これにより、前記ウエハを前記チャンバ区画間で移動させることと、

前記チャンバ区画の少なくとも一つで ALD 処理を実行しながら、前記ウエハを前記チ

チャンバ区画に通過させてA L D膜を形成することとを備える方法。

【請求項 2 1】

前記プラテンを回転させることは、前記プラテンを継続的に回転させることを含む、請求項 2 0 に記載の方法。

【請求項 2 2】

前記空気圧で仕切るとは、前記空隙 G で前記プラテンの表面と空気連通している空気弁によって実行される、請求項 2 0 または 2 1 に記載の方法。

【請求項 2 3】

前記空気弁は、V - P - V 空気配置または P - V - P 空気配置の何れかを含み、ここで、前記 V は真空を意味し、前記 P は圧力を意味する、請求項 2 2 に記載の方法。

【請求項 2 4】

第 1 チャンバ区画で第 1 A L D 処理を実行することと、前記第 1 チャンバ区画とは隣接しない第 2 チャンバ区画で第 2 A L D 処理を実行することとをさらに備える、請求項 2 0 から 2 3 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 2 5】

前記プラテンが一回転する間に、各ウエハに一つの A L D 膜層が形成され、

前記プラテンを複数回回転させて、複数の A L D 膜層で形成された A L D 膜を形成することをさらに備える、請求項 2 0 から 2 4 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 2 6】

ガスを含む少なくとも一つのチャンバ区画に前記ウエハを通過させることをさらに備え、前記ガスは、前記ウエハまたは前記 A L D 膜層の表面と化学的に反応しない、請求項 2 5 に記載の方法。

【請求項 2 7】

前記チャンバ区画の少なくとも一つにおいてレーザ処理を実行することをさらに備える、請求項 2 0 から 2 6 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 2 8】

前記レーザ処理は、固定された線画像を形成することと、前記線画像に対して前記ウエハを動かすこととを含む、請求項 2 7 に記載の方法。

【請求項 2 9】

前記レーザ処理は、処理ガスの存在下で実行され、レーザ促進 A L D 処理を実行する、請求項 2 7 または 2 8 に記載の方法。

【請求項 3 0】

前記チャンバ区画の少なくとも一つにおいてプラズマ処理を実行することをさらに備える、請求項 2 0 から 2 9 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 3 1】

前記プラテンを回転させることは、各ウエハに、前記チャンバ区画内の滞在時間として、250 ミリ秒から 500 ミリ秒の間の時間を与えるような回転速度で実行される、請求項 3 0 に記載の方法。

【請求項 3 2】

前記プラテンを複数回回転させることをさらに備え、そして、前記ウエハは、前記チャンバ区画のそれぞれを複数回通過し、これにより、前記ウエハ表面のそれぞれに A L D 膜を形成する、請求項 2 0 から 3 1 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 3 3】

前記プラテンを回転させることは、10 回転 / 分 (RPM) から 200 RPM の間の回転速度で実行される、請求項 2 0 から 3 2 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 3 4】

前記回転速度は、30 RPM から 100 RPM の間である、請求項 3 3 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本開示は、原子層堆積に関する。より具体的には、高スループットを有する原子層堆積システムおよび方法に関する。

## 【0002】

本明細書において言及されるあらゆる刊行物又は特許文献の全開示は、参照により本明細書中に組み込まれる。特許文献には、米国特許第5,997,963号公報、米国特許第6,066,210号公報、米国特許第7,833,351号公報、米国特許第8,877,300号公報、および米国公開第2010/0183825号公報、および米国公開第2013/0196078号公報が含まれる。

10

## 【背景技術】

## 【0003】

原子層堆積(ALD)は、非常に制御された手法で基板上に薄膜を堆積する方法である。堆積処理は、2種以上の蒸気状態(すなわち、「処理ガス」)の化学物質を使用して、シリコンウエハなどの基板の表面上でこれらの化学物質を連続的かつ自己制限的に反応させることによって制御される。連続的な処理が繰り返されて、層ごとに薄膜が構築される。これらの層は、原子スケールの厚さを有する。

## 【0004】

ALDは、高度なゲートおよびキャパシタ誘電体用に、二元酸化物、三元酸化物および四元酸化物などの多種の薄膜を形成するために用いられる。またALDは、相互結合バリ

20

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

ALD処理は、従来技術において周知の単一のチャンバシステムで実行され得る。しかし、ALD処理は、例えば化学蒸着のような処理と比較すると、比較的が遅い。典型的なALD処理では、単一の処理チャンバに第1処理ガスを導入する。試料は、短時間の間この環境下に置かれ、表面が第1処理ガスに曝される。一般に、この処理に要する時間は1秒未満であり、実際にはほんの数ミリ秒を要するのみである。

## 【0006】

30

表面が第1処理ガスで満たされると、第1処理ガスは、処理チャンバの外へ送出される。その後、不活性ガスまたはパージガスが、処理チャンバを通過する。その後、第2処理ガスが処理チャンバに導入される。第2処理ガスは、第1処理ガスで飽和された基板の表面と反応する。第2処理ガスの前に不活性ガスを処理チャンバに流入させる目的は、未反応の元の処理ガスのすべてを除去するためである。第2処理ガスは、第1処理ガスで飽和された基板の表面と反応する。この第2反応処理が(数ミリ秒で)完了すると、第2処理ガスは除去され、処理チャンバは再度不活性ガスでパージ(浄化)される。その後、第1処理ガスは、処理チャンバに導入され、所望の厚さを有するALD膜が得られるまで、一連の全反応が繰り返される。

## 【0007】

40

ALD処理の速度が遅い根本的な理由は、基板の表面での処理ガスの反応速度とは関係しない。この反応は、比較的速い。ALD処理は、処理チャンバへの処理ガスの流入に要する時間、処理ガスの排出に要する時間、不活性ガスの流入および排出に要する時間、その後の処理チャンバへの次の処理ガスの流入に要する時間などが原因で長時間を要する。ALDのスループットを制限しているのは、反応速度ではなく、流入メカニズムなのである。一連の堆積処理のそれぞれは、通常数秒かかり、全体のサイクルは数分を要する。

## 【0008】

さらに、ALD膜を構成する各ALD層が高額な処理ガスを比較的大量に消費することが、ALD処理が高額となる根本的な理由である。一般に、処理チャンバは基板よりも大幅に大きい。各サイクルで処理ガスは排出される。ALD反応において実際に使用される

50

処理ガスの量は、通常わずか 1 % である。

【 0 0 0 9 】

A L D 処理を高速化するために、複数の A L D チャンバが使用される。あるいは、複数の基板を収容する大型の処理チャンバを使用して、バッチ処理という処理を実行することができる。いずれにしても、A L D 処理を高速化して、基板のスループットを向上させることが、基板に対するコストの削減につながる。さらに、A L D システムを単純化することによって、コストを削減することができる。具体的には、A L D システム（および、特に複数チャンバ A L D システム）の所有費用を削減することによって、基板のコストを減らすことができる。

【 0 0 1 0 】

したがって、システムコストおよび製造コストを増大させる複雑化を抑えつつ、スループットを向上させることのできる、より改善した A L D システムおよび方法が必要とされる。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

本開示は、処理ガスの使用量を減らすことによって A L D 処理のコストを減少させつつ、A L D 処理を簡略化する A L D システムおよび方法に関する。A L D システムおよび方法の側面は、処理チャンバの分離したチャンバ区画内に処理ガスを充てんすることと、前記チャンバ区画から前記処理ガスを除去する必要をなくして、前記分離したチャンバ区画間で基板を移動させることとを含む。

【 0 0 1 2 】

本開示の一面は、複数のウエハ上で A L D を実行するための複数チャンバ A L D システム用の処理チャンバである。この処理チャンバは、ハウジングと、回転可能なプラテンと、空気弁とを備える。前記ハウジングは、内部を有する。前記内部は、該内部に配置されたチャンバ仕切りによって複数のチャンバ区画に分割される。前記ハウジングは、開放底端部を有する。前記回転可能なプラテンは、中心軸と上面を有する。前記上面は、前記複数のウエハを支持する。前記回転可能なプラテンは、前記ハウジングの前記底端部に隣接するその上面とともに動作可能に配置され、空隙によって前記ハウジングから離間される。ここで、前記回転可能なプラテンは、回転可能であり、前記複数のチャンバ区画間で前記ウエハを移動させる。前記空気弁は、各チャンバ仕切りに動作可能に配置される。各空気弁は、前記空隙内で前記回転可能なプラテンの前記上面と空気連通し、隣接するチャンバ区画間に空気仕切りを形成する。

【 0 0 1 3 】

本開示の他の局面は、上述の処理チャンバであって、前記ハウジングの内部は、円形断面を有する。

【 0 0 1 4 】

本開示の他の局面は、上述の処理チャンバであって、前記空隙は、50 ミクロン (  $\mu\text{m}$  ) から 500 ミクロン (  $\mu\text{m}$  ) の間である。

【 0 0 1 5 】

本開示の他の局面は、上述の処理チャンバであって、前記回転可能なプラテンは、10 回転 / 分から 200 回転 / 分の間の回転速度で回転するように構成される。

【 0 0 1 6 】

本開示の他の局面は、上述の処理チャンバであって、前記チャンバ仕切りは、3 個から 8 個の間のチャンバ区画を規定する。

【 0 0 1 7 】

本開示の他の局面は、上述の処理チャンバであって、各空気弁は、i ) 2 個の真空チャネルに挟まれた中央パージガスチャネル、または、i i ) 2 個のパージガスチャネルに挟まれた中央真空チャネルのうちの何れかを含む。

【 0 0 1 8 】

本開示の他の局面は、上述の処理チャンバであって、前記複数のチャンバ区画は、第 1

10

20

30

40

50

および第2処理チャンバ区画と、第1および第2非処理チャンバ区画とを含む。前記第1および第2処理チャンバ区画は、隣接しておらず、第1および第2処理ガス源に動作可能にそれぞれ接続されている。前記第1および第2非処理チャンバ区画は、隣接しておらず、パージガス源に動作可能に接続されている。

【0019】

本開示の他の局面は、上述の処理チャンバであって、前記処理チャンバは、レーザシステムをさらに備える。前記レーザシステムは、前記複数のチャンバ区画の少なくとも一つに対して動作可能に配置される。

【0020】

本開示の他の局面は、上述の処理チャンバであって、前記処理チャンバは、プラズマ源システムをさらに備える。前記プラズマ源システムは、前記複数のチャンバ区画の少なくとも一つに対して動作可能に配置される。

10

【0021】

本開示の他の局面は、上述の処理チャンバであって、各チャンバ区画は、単一のウエハを収容するように構成される。

【0022】

本開示の他の局面は、上述の処理チャンバであって、前記ウエハは厚み $T H_w$ をそれぞれ有し、各チャンバ区画は、内部高さ $H$ を有し、 $10 \cdot T H_w \leq H \leq 50 \cdot T H_w$ の範囲内となっている。

【0023】

20

本開示の他の局面は、上述の処理チャンバであって、前記空気弁は、 $V - P - V$ 空気配置または $P - V - P$ 空気配置の何れかを含む。ここで、 $V$ は真空を意味し、 $P$ は圧力を意味する。

【0024】

本開示の他の局面は、処理チャンバと、処理ガスシステムと、パージガスシステムとを備える複数チャンバALDシステムである。前記処理チャンバは、本明細書に開示され、上述されたものである。前記処理ガスシステムは、前記チャンバ区画の少なくとも2つに動作可能に接続される。前記パージガスシステムは、前記処理ガスシステムに動作可能に接続された前記少なくとも2つのチャンバ区画とは異なるチャンバ区画の少なくとも2つに動作可能に接続される。

30

【0025】

本開示の他の局面は、上述の複数チャンバALDシステムであって、前記複数チャンバALDシステムは、i) 前記チャンバ区画の少なくとも一つに対して動作可能に接続されるレーザシステム、および、ii) 前記チャンバ区画の少なくとも一つに対して動作可能に接続されるプラズマ源システムのうちの少なくとも一つをさらに備える。

【0026】

本開示の他の局面は、上述の複数チャンバALDシステムであって、前記処理ガスシステムは、第1および第2処理ガス供給部を含み、前記第1および第2処理ガス供給部は、第1および第2処理ガスをそれぞれ含む。

【0027】

40

本開示の他の局面は、上述の複数チャンバALDシステムであって、前記複数のチャンバ区画は、4個のチャンバ区画で構成される。

【0028】

本開示の他の局面は、上述の複数チャンバALDシステムであって、前記ウエハは厚み $T H_w$ をそれぞれ有し、各チャンバ区画は、内部高さ $H$ を有し、 $10 \cdot T H_w \leq H \leq 50 \cdot T H_w$ の範囲内となっている。

【0029】

本開示の他の局面は、上述の複数チャンバALDシステムであって、前記空隙は、50ミクロン( $\mu m$ )から500ミクロン( $\mu m$ )の範囲内である。

【0030】

50

本開示の他の局面は、上述の複数チャンバ A L D システムであって、各チャンバ区画は、単一のウエハを収容するように構成される。

【 0 0 3 1 】

本開示の他の局面は、表面をそれぞれ有する複数のウエハ上に A L D を実行して各ウエハ上に A L D 膜を形成する方法である。この方法は、プラテンの表面に複数のウエハを支持することを含む。前記プラテンは、処理チャンバハウジングから 5 0 0 ミクロン (  $\mu\text{m}$  ) 以下の空隙 G を有して離間している。前記処理チャンバハウジングは、複数のチャンバ区画を含む。この方法は、前記チャンバ区画を空気圧で仕切ることを含む。この方法は、前記処理チャンバハウジングの真下で前記プラテンを回転させ、これにより、前記ウエハを前記チャンバ区画間で移動させることを含む。この方法は、前記チャンバ区画の少なくとも一つで A L D 処理を実行しながら、前記ウエハが前記チャンバ区画を通過して A L D 膜を形成することを含む。

10

【 0 0 3 2 】

本開示の他の局面は、上述の方法であって、前記プラテンを回転させることは、前記プラテンを継続的に回転させることを含む。

【 0 0 3 3 】

本開示の他の局面は、上述の方法であって、前記空気圧で仕切るとは、前記空隙 G で前記プラテンの表面と空気連通している空気弁によって実行される。

【 0 0 3 4 】

本開示の他の局面は、上述の方法であって、前記空気弁は、V - P - V 空気配置または P - V - P 空気配置の何れかを含む。ここで、V は真空を意味し、P は圧力を意味する。

20

【 0 0 3 5 】

本開示の他の局面は、上述の方法であって、前記方法は、第 1 チャンバ区画で第 1 A L D 処理を実行することと、前記第 1 チャンバ区画とは隣接しない第 2 チャンバ区画で第 2 A L D 処理を実行することとをさらに含む。

【 0 0 3 6 】

本開示の他の局面は、上述の方法であって、前記プラテンが一回転 ( 完全な回転を ) する間に、各ウエハに一つの A L D 膜層が形成され、前記プラテンを複数回回転させて、複数の A L D 膜層で形成された A L D 膜を形成することをさらに含む。

【 0 0 3 7 】

本開示の他の局面は、上述の方法であって、前記方法は、ガスを含む少なくとも一つのチャンバ区画に前記ウエハを通過させることをさらに含む。前記ガスは、前記ウエハまたは前記 A L D 膜層の表面と化学的に反応しない。

30

【 0 0 3 8 】

本開示の他の局面は、上述の方法であって、前記方法は、前記チャンバ区画の少なくとも一つにおいてレーザ処理を実行することをさらに含む。

【 0 0 3 9 】

本開示の他の局面は、上述の方法であって、前記レーザ処理は、固定された線画像を形成することと、前記線画像に対して前記ウエハを動かすこととを含む。

【 0 0 4 0 】

本開示の他の局面は、上述の方法であって、前記レーザ処理は、レーザ促進 A L D 処理を実行するために処理ガスの存在下で実行される。

40

【 0 0 4 1 】

本開示の他の局面は、上述の方法であって、前記方法は、前記チャンバ区画の少なくとも一つにおいてプラズマ処理を実行することをさらに含む。

【 0 0 4 2 】

本開示の他の局面は、上述の方法であって、前記プラテンを回転させることは、各ウエハに、前記チャンバ区画内の滞在時間として、2 5 0 ミリ秒から 5 0 0 ミリ秒の間の時間を与えるような回転速度で実行される。

【 0 0 4 3 】

50

本開示の他の局面は、上述の方法であって、前記方法は、前記プラテンを複数回回転させることをさらに含み、そして、前記ウエハは、前記チャンバ区画のそれぞれを複数回通過し、これにより、前記ウエハ表面のそれぞれにA L D膜を形成する。

【0044】

本開示の他の局面は、上述の方法であって、前記プラテンを回転させることは、10RPM（回転/分）から200RPMの間の回転速度で実行される。

【0045】

本開示の他の局面は、上述の方法であって、前記回転速度は、30RPMから100RPMの間である。

【0046】

方法の他の局面は、一つ以上のチャンバ区画において、レーザ処理およびプラズマ処理の少なくとも一方を実行することを含む。回転可能なプラテンの回転速度は、特定の処理ガスとウエハ表面との反応速度、または、特定の処理ガスとプラテンの各一回転（完全な回転）の間にウエハ表面に形成されるA L D膜層との反応速度によってのみ制限される。

【0047】

さらなる特徴点及び利点は、以下の詳細な説明に明記される。また、それらの一部は詳細な説明の記載内容から当業者にとって直ちに明白となるか、詳細な説明、特許請求の範囲、添付図面に記載された実施形態を実施することによって認識されるであろう。上記の概要及び下記の詳細な説明に関する記載は、単なる例示であって、特許請求の範囲に記載されている本発明の本質及び特徴を理解するための概略または枠組みを提供するものであることを理解すべきである。

【図面の簡単な説明】

【0048】

添付図面は、さらなる理解を提供するために含まれており、本明細書の一部を構成すると共に本明細書の一部に組み込まれる。図面は、1または複数の実施形態を示しており、詳細な説明と共に種々の実施形態の原理や動作を説明する役割を担う。このように、本開示は、添付図面と共に以下に示す詳細な説明からより完全に理解されることになるであろう。

【図1】図1は、本開示にかかる高スループットの複数チャンバA L Dシステムの模式図である。

【図2】図2は、4つのチャンバ区画を規定する4つの仕切りを含む処理チャンバの一例を示す上面切断図である。

【図3】図3は、プラテンの一例を示す上方斜視図であり、プラテン上に動作可能に支持される4つのウエハを示す図である。

【図4A】図4Aは、本明細書に開示されたシステムおよび方法を使用してA L D膜が形成された表面を含むウエハの一例を示す上方斜視図である。

【図4B】図4Bは、図4Aのウエハの断面図である。図4Bに示すウエハは、ウエハ表面に形成されたA L D膜をさらに含む。また、この図において、拡大挿入図は、複数のA L D膜層から形成されたA L D膜を示す。

【図5A】図5Aは、プラテンおよびそれに隣接する仕切りの拡大断面図である。この図では、隣接するチャンバ区画間に空気仕切りを形成するための仕切り内の空気弁の動作を示す。

【図5B】図5Bは、プラテンおよびそれに隣接する仕切りの拡大断面図である。この図では、隣接するチャンバ区画間に空気仕切りを形成するための仕切り内の空気弁の動作を示す。

【図5C】図5Cは、プラテンおよびそれに隣接する仕切りの拡大断面図である。この図では、隣接するチャンバ区画間に空気仕切りを形成するための仕切り内の空気弁の動作を示す。

【図5D】図5Dは、プラテンおよびそれに隣接する仕切りの拡大断面図である。この図では、隣接するチャンバ区画間に空気仕切りを形成するための仕切り内の空気弁の動作を

10

20

30

40

50

示す。

【図 6 A】図 6 A は、図 5 A と同様の図であって、本明細書に開示された空気弁における P - V - P 空気配置の一例を示す図である。

【図 6 B】図 6 B は、図 5 C と同様の図であって、本明細書に開示された空気弁における P - V - P 空気配置のもう一つの例を示す図である。

【図 7 A】図 7 A は、図 2 と同様の図であって、5 つのチャンバ区画を有する異なる実施形態のチャンバを示す。

【図 7 B】図 7 B は、図 2 と同様の図であって、6 つのチャンバ区画を有する異なる実施形態のチャンバを示す。

【図 8】図 8 は、図 1 と同様の図であって、複数チャンバ A L D システムの一例を示す図である。この複数チャンバ A L D システムは、少なくとも一つのチャンバ区画において、レーザ処理（例えば、レーザアニーリング、レーザ促進 A L D など）を実行するために動作可能に配置されたレーザシステムを含む。

【図 9】図 9 は、チャンバ区画内のウエハの上方斜視図である。また、この図は、ウエハ表面で線画像を形成するレーザ光線を示す。ここで、線画像は、下方のウエハを動かすことによってウエハ表面上を走査され、全体的な A L D 処理の一部としてレーザ処理を実行する。

【図 10】図 10 は、図 8 と同様の図であって、複数チャンバ A L D システムの一例を示す図である。この複数チャンバ A L D システムは、少なくとも一つのチャンバ区画において、プラズマ処理（例えば、プラズマ促進 A L D など）を実行するために動作可能に配置されたプラズマ源を含む。

【図 11】図 11 は、プラズマ処理能力を有するチャンバ区画内のウエハの拡大図である。この図は、プラズマ源システムからウエハ表面に流れるプラズマを示す。

【発明を実施するための形態】

【0049】

以降、本開示の様々な実施形態、および、添付の図面に示される複数の例について詳述する。図面において可能な限り、同一または類似の部分には、同一または類似の参照番号および参照符号が用いられる。図面には決まった縮尺がなく、当業者であれば、図面は本発明の主要な部分を説明するために簡略化されていることに気づくであろう。

【0050】

下記の特許請求の範囲の記載は、発明の詳細な説明に組み込まれると共にその一部を構成する。

【0051】

いくつかの図面において、参考のためにデカルト座標が描かれているが、これは方向または配置位置を限定するものではない。

【0052】

以下の記述では、「処理ガス」は、一種類以上のガス構成要素によって構成されてもよいし、単一のガス構成要素からなるものでもよい。処理ガスは、基板（ウエハ）表面、あるいは、基板表面に形成された A L D 膜層を含んでいる基板（ウエハ）表面と反応するものである。

【0053】

後述もするように、「パージガス」は、窒素または一種以上の不活性ガスなどの非反応ガスである。非反応ガスは、基板の表面あるいは基板の表面に形成される A L D 膜層と実質的に反応しない。

【0054】

後で用いられる「P と Q との間」（ここで、P および Q は数値である）との説明は、数値 P および Q を含む。

【0055】

以下では、プラテンの一回転は、プラテンの回転が初期位置から開始し、その初期位置に戻る、すなわち、プラテンが 360 度回転することを意味する。

## 【 0 0 5 6 】

以下では、２種類の処理ガス 1 1 1 および 1 1 2 が例示されて説明される。通常「処理ガス」について言及するときには、便宜上、参照番号 1 1 1 が使用される。そして、この説明は、他の処理ガス 1 1 2 または追加の処理ガスにも適用されることが、理解できるであろう。

## 【 0 0 5 7 】

## 複数チャンバ A L D システム

図 1 は、高スループット複数チャンバ A L D システム（「システム」）1 0 の模式図である。システム 1 0 は、処理チャンバ 2 0 を含む。処理チャンバ 2 0 の一例は、図 2 の上面切断図に示される。処理チャンバ 2 0 は、ハウジング 3 0 を含む。ハウジング 3 0 は、内側表面 3 3 を有する側壁 3 2、頂端部 3 4、および底端部 3 6 を含む。ハウジング 3 0 は、中心ハウジング軸 A H を有する。頂端部 3 4 は頂壁 3 8 を含み、底端部 3 6 は開口している。一例では、側壁 3 2 は、円形断面を有する円筒形状である。他の例では、ハウジング 3 0 は、あらゆる適当な断面形状の側壁 3 2 を有し得る。このような断面形状には、多面形（多角形）が含まれるが、好ましくは、円形の断面形状を規定する内側表面 3 3 を有する。

## 【 0 0 5 8 】

処理チャンバ 2 0 のハウジング 3 0 は、高さ（「内部高」）H を有する内部 4 0 を含む。内部高 H は、ハウジング 3 0 の頂端部 3 4 と底端部 3 6 との間で測定される。内部 4 0 は、仕切り 4 4 を含む。仕切り 4 4 は、一例では、中心ハウジング軸 A H から放射状に延びる。図 2 は、ハウジング 3 0 が 4 個の仕切り 4 4 を含む例を示す。4 個の仕切りは、それぞれ符号 4 4 A、4 4 B、4 4 C および 4 4 D で示される。各仕切り 4 4 は、対向側部（対向する側部）4 5、頂端 4 6 および底端 4 8 を含む。仕切り 4 4 は、内部 4 0 内で複数のチャンバ区画 4 1 を規定（区画）する。一例では、仕切り 4 4 は、チャンバ区画 4 1 のすべてが実質的に同じ寸法、形状および体積を有するように配置される。4 つのチャンバ区画 4 1 A から 4 1 D を規定する 4 つの仕切り 4 4 A から 4 4 D は、例えば、図 2 に示される。各仕切り 4 4 は、空気弁 5 0 を含む。例えば、図 2 に示し、後で詳細に説明するように、4 つの仕切り 4 4 A から 4 4 D は、空気弁 5 0 A から 5 0 D をそれぞれ有する。各仕切り 4 4 は、幅 w を有する。一例では、幅 w は、5 mm  $w$  2 5 mm の範囲内である（図 5 A 参照、以下で説明）。一例では、各仕切り 4 4 の対向する側部 4 5 は、平面的である。

## 【 0 0 5 9 】

後述するように、システム 1 0 は、厚さ  $T H_w$ 、および、径または幅  $W_d$  を有する複数のウエハ 7 0 を処理するように構成される。一例では、内部高 H は、ウエハ 7 0 を処理する際に、チャンバ区画 4 1 が比較的少量の処理ガスまたはパージガスを使用するように選択され得る。一例では、内部高 H は、 $5 \cdot T H_w \leq H \leq 100 \cdot T H_w$  の範囲内、または、 $10 \cdot T H_w \leq H \leq 50 \cdot T H_w$  の範囲内、または、 $10 \cdot T H_w \leq H \leq 20 \cdot T H_w$  の範囲内となっている。したがって、ウエハ厚さ  $T H_w = 750$  ミクロン（ $\mu m$ ）の例では、内部高 H は例えば、約 1 cm から約 5 cm の間であり得る。

## 【 0 0 6 0 】

また処理チャンバ 2 0 は、回転可能なプラテン 6 0 を含む。図 3 は、回転可能なプラテン 6 0 の一例の上方斜視図である。回転可能なプラテン 6 0 は、上面 6 2、中心 C、中心軸 A P、および半径 R を有する。中心軸 A P は、中心 C を通る。回転可能なプラテン 6 0 の上面 6 2 は、処理される複数のウエハ 7 0（例えば、図示される 4 個のウエハ）を支持するように構成される。図 3 の破線 D L は、4 つの仕切り 4 4 が上面 6 2 上に存在する位置の一例を示す。このように、一つのウエハ 7 0 は、各チャンバ区画 4 1 内に存在する。一例では、回転可能なプラテン 6 0 は、静電チャックを構成する。静電チャックは、ウエハ 7 0 を定位置に保持し、平らな状態に保つ役割を担う。

## 【 0 0 6 1 】

回転可能なプラテン 6 0 は、ハウジング 3 0 の底端部 3 6 に隣接し、ハウジング 3 0 か

10

20

30

40

50

ら z 方向に離間して配置される。これにより、空隙 G が規定される。一例では、空隙 G は、50 ミクロン (  $\mu\text{m}$  ) から 500 ミクロン (  $\mu\text{m}$  ) の範囲内である。一例では、空隙 G は 1 mm 未満 (  $< 1\text{ mm}$  ) である。一例では、回転可能なプラテン 60 の上面 62 は、複数の凹部 63 を含む。各凹部 63 は、ウエハ 70 を収容できる大きさとなっている。これにより、ウエハ 70 の表面 72 は、回転可能なプラテン 60 の上面 62 に存在するか、あるいは、回転可能なプラテン 60 の上面 62 よりも下方に存在する ( 図 5 C 参照、以下で説明 )。一例では、凹部 63 は、ウエハ 70 の表面 72 が回転可能なプラテン 60 の上面 62 と面一となるように形成される。一例では、ハウジング 30 および回転可能なプラテン 60 の少なくとも一方が、z 方向に移動可能である。これにより、ウエハ 70 は、回転可能なプラテン 60 の上面 62 に、空隙 G の大きさに合わせつつ動作可能に配置される。

10

#### 【0062】

図 4 A は、一例のウエハ 70 の上方斜視図である。ウエハ 70 は、上面 ( 「表面」 ) 72 を含む。後述するように、上面 72 では ALD 処理が実行される。各チャンバ区画 41 は、少なくとも一つのウエハ 70 を収容するように構成される。例えば、ウエハ 70 は、少なくとも一つの 100 mm ウエハ、または少なくとも一つの 200 mm ウエハ、または少なくとも一つの 300 mm ウエハ、または少なくとも一つの 450 mm ウエハである。一例では、各チャンバ区画 41 は、複数のウエハ 70 を収容することができる。一例では、径  $W_d = 200\text{ mm}$  を有するウエハ 70 の中心が、回転可能なプラテン 60 の中心 C から約 750 mm 離れて配置される場合、全部で 20 個の 200 mm ウエハが、回転可能なプラテン 60 の上面 62 に支持され得る。ウエハの中心が、回転可能なプラテン 60 の中心から約 425 mm 離れて配置される場合、全部で 10 個の 200 mm ウエハが、回転可能なプラテン 60 の上面 62 に支持され得る。

20

#### 【0063】

径  $W_d$  を有するウエハを n 個支持する必要がある回転可能なプラテン 60 の半径 R は、以下の式によって近似される。

$$R = (n) \cdot (W_d) / (2) + (W_d / 2)$$

#### 【0064】

図 4 B は、ウエハ 70 の断面図である。図 4 B は、本明細書に記載のシステム 10 および方法を用いてウエハ 70 の上面 72 上に形成された ALD 膜 74 の一例を示す。図 4 B における拡大挿入図は、ALD 膜 74 が多くの個々の層 74 L で構成されることを示す。後述するように、個々の層 74 L は、各 ALD 堆積処理またはサイクル中に形成される。ALD 膜 74 の層 74 L は、実際には分離可能なものではないかもしれないが、ALD 膜 74 が、どのようにして、各段階で層ごとに構築されて所望の厚さ  $TH_F$  になるかを図示している。

30

#### 【0065】

一例では、回転可能なプラテン 60 は、ウエハ 70 を 400 まで加熱し、ALD 処理を促進するように構成される。この加熱能力は、例えば、一つ以上の加熱素子 64 によって実現される。加熱素子 64 は、図 3 に示すように、回転可能なプラテン 60 内に、あるいは、回転可能なプラテン 60 に熱接触して、動作可能に配置される。

#### 【0066】

40

図 1 を参照すると、システム 10 は処理ガスシステム 100 を含む。処理ガスシステム 100 は、処理チャンバ 20 に動作可能に接続される。一例では、処理ガスシステム 100 は、第 1 処理ガス供給部 101 および第 2 処理ガス供給部 102 を含む。第 1 処理ガス供給部 101 は、第 1 処理ガス 111 を含む。第 2 処理ガス供給部 102 は、第 2 処理ガス 112 を含む。実行される具体的な ALD 処理に応じて、さらなる処理ガス供給部を使用することもできる。例として、2 個の処理ガス供給部 101, 102 が図示される。ALD の技術分野では、処理ガス 111 および 112 は、「前駆体」または「前駆体ガス」とも呼ばれる。

#### 【0067】

図 2 を参照すると、一例では、第 1 処理ガス供給部 101 は、第 1 ガスライン 121 を

50

介してチャンバ区画 4 1 A に動作可能に接続される。第 2 処理ガス供給部 1 0 2 は、第 2 ガスライン 1 2 2 を介してチャンバ区画 4 1 C に動作可能に接続される。処理ガスシステム 1 0 0 は、追加の処理ガス、および、他のチャンバ区画 4 1 への追加のガスラインを含むこともできる。このような形態は、例えば、後述するような、レーザアニーリングまたは他の処理が A L D 処理の一部として実行される実施形態で採用される。

#### 【 0 0 6 8 】

またシステム 1 0 は、パージガスシステム 1 3 0 を含む。パージガスシステム 1 3 0 は、処理チャンバ 2 0 に動作可能に接続される。パージガスシステム 1 3 0 は、パージガス供給部 1 3 2 を含む。パージガス供給部 1 3 2 は、例えば、窒素または他の不活性ガスなどのパージガス 1 4 2 を含む。図 2 に示される例では、パージガス供給部 1 3 2 は、図 2 に示すように、パージガスライン 1 5 2 を介して、チャンバ区画 4 1 B および 4 1 D に動作可能に接続される。パージガス供給部 1 3 2 は、さらなるパージガスライン 1 5 2 を介して、各仕切り 4 4 (例えば、仕切り 4 4 A から 4 4 D のそれぞれ) 内の空気弁 5 0 (例えば、空気弁 5 0 A から 5 0 D) にも動作可能に接続される。

#### 【 0 0 6 9 】

またシステム 1 0 は、真空システム 1 6 0 を含む。真空システム 1 6 0 は、真空ライン 1 6 2 を介して仕切り 4 4 内の空気弁 5 0 に動作可能に接続される。

#### 【 0 0 7 0 】

チャンバ区画 4 1 は、実質的に定圧を維持することができる。すなわち、チャンバ区画 4 1 では、従来の A L D システムで行われていたように、特定のガスを排出させ、その後、ガスを再度追加する必要はない。むしろ、ガスは任意のチャンバ区画 4 1 内に残存し、ハウジング 3 0 の真下の回転可能なプラテン 6 0 の回転によって、異なるチャンバ区画 4 1 へウエハ 7 0 が移動する。これにより、チャンバ区画 4 1 の間に存在する空気弁 5 0 において、わずかな圧力の変化が起こる。一例では、この圧力変化は、仕切り 4 4 の下の空隙 G および空気弁 5 0 へのガスの流れを促進する「陰圧」である。ここで、空気弁 5 0 は、チャンバ区画 4 1 間にガスカートを形成することによって、隣接するチャンバ区画 4 1 へのガスの流れを実質的に抑える。他の例では、この圧力変化は、「陽圧」である。そのため、空気弁 5 0 からのパージガス 1 4 2 の流れが、隣接するチャンバ区画 4 1 内のガスを、仕切り 4 4 の下の対応する空隙 G へと流すことを阻止する。

#### 【 0 0 7 1 】

処理ガス 1 1 1 , 1 1 2 などが、各処理工程間で排出されることなく、各処理チャンバ区画 4 1 に残存しているために、システム 1 0 における A L D 堆積処理の費用を実質的に減少させる。上述したように、A L D 処理の費用の大部分は、処理ガス 1 1 1 , 1 1 2 と関連している。従来のシステムでは、1 0 mm のチャンバ高さを有する 2 0 0 mm ウエハ用の処理チャンバは、約  $5 0 0 \text{ cm}^3$  の体積を有し、ガス圧は公称 1 0 0 ミリトル (m i l l i t o r r) である。各 A L D 膜層について、すべての処理ガスが排出され、置換される。1 0 0 0 層対の場合には、 $2 \times 5 0 0 \text{ cm}^3 \times 1 0 0 0 \times 1 0 0 \text{ ミリトル} = 1 0^5 \text{ cm}^3$  - トールの高価なガスが消費される。本明細書に開示されるシステム 1 0 および関連の方法では、チャンバ区画 4 1 の体積は、一回で保存されるため、処理ガスの消費量を約 1 0 0 0 分の 1 に減らすことができる。

#### 【 0 0 7 2 】

図 1 を参照すると、システム 1 0 は、駆動モータ 1 7 0 を含む。駆動モータ 1 7 0 は、例えば、駆動軸などの機械式の駆動装置 1 7 2 を介して回転可能なプラテン 6 0 に動作可能に接続される。これにより、回転可能なプラテン 6 0 は、矢印 A R で示すように、中心軸 A P の周りを回転する。一例では、回転可能なプラテン 6 0 の中心軸 A P は、図 1 に示すように、中心ハウジング軸 A H と同軸である。

#### 【 0 0 7 3 】

システム 1 0 は、制御部 1 8 0 をさらに含む。制御部 1 8 0 は、処理ガスシステム 1 0 0、パージガスシステム 1 3 0、並びに、真空システム 1 6 0 および駆動モータ 1 7 0 に動作可能に接続される。一般に、制御部 1 8 0 は、例えば、内部のまたは制御部 1 8 0 に

動作可能に接続された持続性コンピュータ読み取り可能媒体 182 で具現化された指令によって、システム 10 の動作を制御するように構成される。

【0074】

図 5 A から図 5 D は、回転可能なブラテン 60 およびそれに隣接する仕切り 44 の 4 つの異なる x - z 断面図である。仕切り 44 は、隣接するチャンバ区画 41 を分離する。また、図 5 A から図 5 D では、仕切り 44 内の空気弁 50 を示す。空気弁 50 は、ベルヌーイバルブとも呼ばれる。空気弁 50 は、例えば、導管（コンジット）200 を介して、真空システム 160 およびパージガスシステム 130 に動作可能に接続される。導管 200 は、パージガスライン 152 および真空ライン 162 を含む。空気弁 50 は、少なくとも一つのパージガスチャネル 252 および少なくとも 2 つの真空チャネル 262 を含む。少なくとも一つのパージガスチャネル 252 は、少なくとも一つのパージガスライン 152 に動作可能に接続される。少なくとも 2 つの真空チャネル 262 は、少なくとも 2 つの真空ライン 162 に動作可能に接続される。パージガスチャネル 252 および真空チャネル 262 は、通常、仕切り 44 の頂端部 46 から底端部 48 へ z 方向に延び、底端部 48 において開口している。

10

【0075】

処理チャンバ 20 は、各チャンバ区画 41 が、例えば、特定の処理ガスまたはパージガス 142 などの特定のガスを含むように構成される。空気弁 50、および、空気弁 50 内のパージガスチャネル 252 および真空チャネル 262 は、隣接するチャンバ区画 41 を空気圧で隔離するように構成される。各空気弁 50 は、空隙 G を隔てて、回転可能なブラ

20

【0076】

このような空気圧の仕切りを実現するために、一例の各空気弁 50 は、少なくとも 2 つの真空チャネル 262 を含む。真空チャネル 262 は、仕切り 44 の対向側部 45 に最も近い位置にそれぞれ存在する。また空気弁 50 は、少なくとも一つのパージガスチャネル 252 を含む。パージガスチャネル 252 は、2 つの真空チャネル 262 の間に存在する（すなわち、2 つの真空チャネル 262 は、少なくとも一つのパージガスチャネル 252 を挟んでいる）。このような空気配置は、左から右へ「V - P - V」と記載される。ここで、「V」は真空を意味し、「P」は、パージまたは少なくとも一つのパージガスチャネル 252 から流れるパージガスからの圧力を意味する（図 5 A 参照）。「V」は、真空チャネル 262 に相当し、「P」は、パージガスチャネル 252 に相当する。異なるタイプの種々の「V - P - V」空気配置が存在する。このような空気配置において、真空 V は、各「外側」にあり、一つ以上の圧力 P および一つ以上の他の真空 V は、外側の V の間に存在する。

30

【0077】

隣接するチャンバ区画 41 間の空気圧の仕切りは、可能な限り強固であることが好ましいが、完全である必要はないことに、ここでは留意すべきである。一例では、一つのチャンバ区画 41 からのいくつかの処理ガス 111, 112 は、移動するガスの量がごくわずかであれば、隣接するチャンバ区画 41 へ移動することができる。また、いくつかのパージガス 142 は、移動するガスの量がごくわずかであれば、一つのチャンバ区画 41 から隣接するチャンバ区画 41 へ移動することができる。ここで、ごくわずかとはい、任意のチャンバ区画 41 内で起こる ALD 処理を実質的に変更しない、すなわち、形成された最終的な ALD 膜の品質に実質的な影響を与えないことを意味する。、チャンバ区画 41 内に既に存在するガスの量に対して、ガス中の数個の原子があるチャンバ区画 41 から他のチャンバ区画 41 へ移動したとしても、最終的な ALD 膜 74 の形成に与える影響は、ごくわずかであろう。

40

【0078】

図 5 B および図 5 C に示される空気弁 50 の構成例は、大径の中央パージガスチャネル 252 を有している。この中央パージガスチャネル 252 から何れかの側部へ移動するの

50

が、V - P - V 空気配置である。したがって、仕切り 4 4 の左側の側部 4 5 から右側の側部 4 5 への中央パージガスチャネル 2 5 2 の配置は、V - P - V - P - V - P - V と記載される空気配置を定義する。この空気配置の表記は、理解を容易にするために、図 5 B および図 5 C において用いられている。

#### 【 0 0 7 9 】

図 5 D は、図 5 C と同様の図であり、V - P - V - P - V 空気配置を示す。ここでは、中央パージガスチャネル 2 5 2 は、中央真空チャネル 2 6 2 と置き換わっている。そして、2 つの最内側の真空チャネル 2 6 2 は、大径の中央真空チャネル 2 6 2 に組み込まれている。

#### 【 0 0 8 0 】

空気弁 5 0 の基本的な V - P - V 空気配置（すなわち、真空によって挟まれたパージガス 1 4 2）により、パージガス 1 4 2 は、中央パージガスチャネル 2 5 2 を通って空隙 G へと流れ、パージガスチャネル 2 5 2 の各側部においてその後空隙 G 内で短距離を通過して、隣接する真空チャネル 2 6 2 によってのみ吸い上げられて、横方向（側方）へ拡散されることができる。さらに、外側の真空チャネル 2 6 2 は、隣接するチャンバ区画 4 1 からガスをそれぞれ集める。具体的には、最も左側の真空チャネル 2 6 2 は、その左側のチャンバ区画 4 1 から空隙 G へ流れる第 1 処理ガス 1 1 1 を集める。また、最も右側の真空チャネル 2 6 2 は、その右側のチャンバ区画 4 1 内に存在し、空隙 G へ流れるパージガス 1 4 2 を集める。

#### 【 0 0 8 1 】

同様に、図 5 B および図 5 C の V - P - V - P - V - P - V の配置、並びに、図 5 D の V - P - V - P - V の配置は、隣接するチャンバ区画 4 1 のさらなる空気圧の分離（すなわち、隣接するチャンバ区画 4 1 間の空気圧の仕切り）を提供しながら、同じ方法で動作する。具体的には、V - P - V - P - V - P - V 配置を参照すると、最も外側の真空チャネル 2 6 2 は、隣接するパージガスチャネル 2 5 2 からのパージガス 1 4 2 を除去しながら、その左側のチャンバ区画 4 1 から第 1 処理ガスを除去し、その右側のチャンバ区画 4 1 からパージガス 1 4 2 を除去するように機能する。

#### 【 0 0 8 2 】

また、最も内側の真空チャネル 2 6 2 は、中央パージガスチャネル 2 5 2 および外側で隣接するパージガスチャネル 2 5 2 からのパージガス 1 4 2 をそれぞれ除去する。パージガスチャネル 2 5 2 における圧力下でのパージガス 1 4 2 の下流への流れと、真空チャネル 2 6 2 における真空下でのパージガス 1 4 2 および第 1 処理ガス 1 1 1 の上流への流れとは、結果として、ガスの動的循環を実現する。このガスの動的循環は、ガスバッファあるいは「ガスカートン」5 5 を創り出す。ガスバッファまたはガスカートン 5 5 は、隣接するチャンバ区画 4 1 間における実質的な量の処理ガス 1 1 1 , 1 1 2 およびパージガス 1 4 2 の移動を抑制する。

#### 【 0 0 8 3 】

空気弁 5 0 の別の空気配置は、P - V - P 配置に基づく。すなわち、外側にパージガス圧力 P があり、内側に真空 V がある。図 6 A は、図 5 A と同様の図であって、P - V - P 空気配置を示す。パージガスチャネル 2 5 2 および真空チャネル 2 6 2 を用いた異なる P - V - P 空気配置として、例えば、P - V - P - V - P - V - P および P - V - P - V - P などのような、図 5 B から図 5 D に示す空気配置に類似する構造が採用され得る。図 6 B は、図 5 C と同様の図であって、空気弁 5 0 の P - V - P 空気配置の別の例を示す。このように、P - V - P 配置は、少なくとも 2 つのパージガスチャネル 2 5 2 と、少なくとも一つの真空チャネル 2 6 2 とを必要とする。

#### 【 0 0 8 4 】

一般的な P - V - P 配置では、いくつかのパージガス 1 4 2 が、隣接するチャンバ区画 4 1 へと流れることを可能とするであろう。ここで、パージガス圧力 P は、隣接するチャンバ区画 4 1 における圧力と実質的に同じであるか、あるいはわずかに大きい。チャンバ区画 4 1 の一つがパージガス部である場合、空気弁 5 0 からパージガスチャンバ区画 4 1

10

20

30

40

50

へのパージガス 1 4 2 の移動は、重要ではない。チャンバ区画 4 1 の一つが処理ガス 1 1 1, 1 1 2 を含む場合、処理ガスチャンバ区画 4 1 へ流入するパージガス 1 4 2 の量はわずかであり、そのため、実施される A L D 処理に実質的な影響は及ぼされない。一方、処理ガスチャンバ区画 4 1 へ移動し得る少量のパージガス 1 4 2 は、第 1 処理ガス 1 1 1 の空気弁 5 0 への流れを減少させるか、抑制するように働く。すなわち、少量のパージガス 1 4 2 は、高価な処理ガスの損失を軽減させることができる。

#### 【 0 0 8 5 】

##### 動作の一般的な方法

図 3 に示すように、システム 1 0 の一般的な動作において、ウエハ ( 基板 ) 7 0 は、回転可能なプラテン 6 0 の上面 6 2 に配置され、これによって支持される。ウエハ 7 0 は、回転可能なプラテン 6 0 上に同時に置かれ、凹部 6 3 内に存在し得る ( 図 5 C 参照 ) 。その後、駆動モータ 1 7 0 が稼働する。これにより、回転可能なプラテン 6 0 は、その中心軸 A P の周りを回転する。一例では、図 1 に示すように、中心軸 A P は中央ハウジング軸 A H と同軸にある。これにより、ウエハ 7 0 は、例えば、4 1 A 4 1 B 4 1 C 4 1 D 4 1 A などのように、隣接するチャンバ区画 4 1 間を移動することができる。そのため、任意のウエハ 7 0 は、回転可能なプラテン 6 0 が一回転するたびにチャンバ区画 4 1 間を順番に周るであろう。一例では、回転可能なプラテン 6 0 は、連続的に、すなわち、停止することなく回転する。また、回転可能なプラテン 6 0 は、一例では、実質的に一定の速度で回転する。他の例では、回転可能なプラテン 6 0 は、任意の一回転または完全な回転の間に一回以上停止しながら回転することもできる。またあるいは、回転可能なプラテン 6 0 は、種々の速度を用いながら回転することもできる。

#### 【 0 0 8 6 】

ウエハ 7 0 の表面 7 2 は、ほんのミリ秒で第 1 処理ガス 1 1 1 によって飽和されるため、回転可能なプラテン 6 0 は、非常に高速で回転することができる。例えば、回転可能なプラテン 6 0 が 6 0 回転 / 分 ( R P M ) ( すなわち、1 回転 / 秒 ) で回転すると、ウエハ 7 0 は、全体で約 2 5 0 ミリ秒の間 ( 「滞在時間」 ) 、各チャンバ区画 4 1 内に滞在するであろう。この滞在時間は、ウエハ 7 0 の表面 7 2 を飽和させるには十分な時間である。回転可能なプラテン 6 0 の回転速度の範囲の一例は、1 0 R P M から 2 0 0 R P M の間、あるいは、3 0 R P M から 1 0 0 R P M の間である。

#### 【 0 0 8 7 】

一例では、回転可能なプラテン 6 0 の回転速度は、任意のチャンバ区画 4 1 内のウエハ 7 0 の滞在時間が、1 0 0 ミリ秒から 1 0 0 0 ミリ秒 ( すなわち、1 秒 ) の間、あるいは、2 0 0 ミリ秒から 7 5 0 ミリ秒の間、あるいは、2 5 0 ミリ秒から 5 0 0 ミリ秒の間となるように設定される。一例では、滞在時間は、ウエハ 7 0 の先頭の端部が最初にチャンバ区画 4 1 に入ってから、ウエハ 7 0 の末尾の端部がチャンバ区画 4 1 を出るまでの間で測定される。末尾の端部をチャンバ区画 4 1 の外側に残しつつ、ウエハ 7 0 の先頭の端部部分を任意のチャンバ区画 4 1 に入らせることによって、不均一な処理が起こった場合であっても、ウエハ 7 0 の先頭の端部が、上記の任意のチャンバ区画 4 1 の外側へ出て、そこに存在したときに、ウエハ 7 0 の末尾の端部部分へ不均一な曝露が行われることによって、相殺されることに留意すべきである。

#### 【 0 0 8 8 】

回転可能なプラテン 6 0 の回転、およびそれに追従するチャンバ区画 4 1 間のウエハ 7 0 の移動中に、仕切り 4 4 内の空気弁 5 0 は、それぞれ空気圧の仕切りとしての役割を果たす。空気圧の仕切りは、ウエハ 7 0 が処理チャンバ 2 0 のハウジング 3 0 の下方で移動することができるのに十分な空隙 G を確保しつつ、隣接するチャンバ区画 4 1 を空気圧で隔離する。上述したように、この空気圧の仕切りは、パージガスチャネル 2 5 2 を介した圧力下でのパージガス 1 4 2 の流れと、真空チャネル 2 6 2 を介した真空の賢明な使用との組み合わせによって実現される。ここで、真空チャネル 2 6 2 は、真空ライン 1 6 2 を介して真空システム 1 6 0 に動作可能に接続される。上述したように、空気弁 5 0 は、ガスカーテン 5 0 を形成する。ガスカーテン 5 0 は、隣接するチャンバ区画 4 1 を空気圧で

隔離する。

【 0 0 8 9 】

任意のチャンバ区画 4 1 内の少量のガス（処理またはパージガス）は、空気弁 5 0 によって除去される。この少量のガスは、対応するガス源を用いて置換され、チャンバ区画 4 1 内の圧力を維持する。この方法でのガス損失量は、真空レベルおよびパージガス 1 4 2 の流れを調整することによって少量に抑えることができ、可能な限り空隙 G を小さく維持する。また、上述したように、処理ガス 1 1 1 , 1 1 2 の消費速度は、空隙 G の大きさを小さなサイズまたは最小サイズにすることで、低くまたは最小に維持され得る。

【 0 0 9 0 】

一例では、一つおきのチャンバ区画 4 1 （例えば、4 1 A , 4 1 C . . . ）は、処理チャンバ区画であり、その間の各チャンバ区画 4 1 （例えば、4 1 B , 4 1 D . . . ）は、非処理チャンバ区画である。一例では、処理チャンバ区画 4 1 は、非処理チャンバ区画 4 1 内のガスとは異なるガスを含む。一例では、非処理チャンバ区画 4 1 の主要な目的は、処理チャンバ区画 4 1 を分離し、ウエハ 7 0 に対して次の処理を準備するための遷移位置を提供することである。他の実施形態では、チャンバ区画 4 1 B および 4 1 D の一方または両方についても、処理チャンバ区画 4 1 として構成することもできる。

10

【 0 0 9 1 】

4 つの処理チャンバ区画 4 1 （4 1 A から 4 1 D ）を有するシステム 1 0 で実施され、 $Al_2O_3$  膜 7 4 を形成する ALD 処理の一実施例が、以下の表 1 に示される。

【表 1】

20

表 1 $Al_2O_3$ 膜を形成するための 4 チャンバ処理の例	
チャンバ	ガス
4 1 A	トリメチルアルミナ（1 1 1）
4 1 B	窒素パージ（1 4 2）
4 2 C	水蒸気（ $H_2O$ ）（1 1 2）
4 2 D	窒素パージ（1 4 2）

30

【 0 0 9 2 】

4 つの処理チャンバ区画 4 1 （4 1 A から 4 1 D ）を有するシステム 1 0 で実施され、GaN 膜を形成する ALD 処理の他の実施例が、以下の表 2 に示される。

【 0 0 9 3 】

【表 2】

表 2 GaN 膜を形成するための 4 チャンバ処理の例	
チャンバ	ガス
4 1 A	トリメチルガリウム（1 1 1）
4 1 B	窒素パージ（1 4 2）
4 2 C	トリメチルガリウム（1 1 1）
4 2 D	窒素パージ（1 4 2）

40

50

## 【 0 0 9 4 】

システム 1 0 は、上記の実施例で説明されるような合計で 4 つのチャンバ区画 4 1 を含むものに限定はされない。図 7 は、図 2 と同様の図であって、一例の処理チャンバ 2 0 の上面切断図である。この処理チャンバ 2 0 は、5 つの仕切り 4 4 を有し、5 つのチャンバ区画 4 1 を規定する。5 つの仕切り 4 4 は、符号 4 4 A から 4 4 E で示される。5 つのチャンバ区画 4 1 は、符号 4 1 A から 4 1 E で示される。このような処理チャンバ 2 0 の実施形態では、チャンバ区画 4 1 A , 4 1 C および 4 1 D が処理区画であり、チャンバ区画 4 1 B および 4 1 E が非処理区画であり得る。

## 【 0 0 9 5 】

例えば、隣接する処理チャンバ区画 4 1 C および 4 1 D は、一方の処理チャンバ区画 4 1 で追加の処理動作を実行しながら、同様の処理ガス 1 1 1 , 1 1 2 を使用することができる。追加の処理動作とは、例えば、加熱、レーザアニーリング、元の処理ガス 1 1 1 , 1 1 2 をパージすることなく他の処理ガスを追加することなどである。他の例では、処理チャンバ 2 0 は、隣接するパージチャンバ区画 4 1 を有することができる。そして、一方のパージチャンバ区画 4 1 では、後述するようなレーザアニーリング能力を有する。

## 【 0 0 9 6 】

図 7 B は、図 7 A と同様の図であり、処理チャンバ 2 0 の他の例を示す。この処理チャンバ 2 0 は、6 個の仕切り 4 4 を有し、6 つのチャンバ区画 4 1 を規定する。6 個の仕切り 4 4 は、符号 4 4 A から 4 4 F で示される。6 つのチャンバ区画 4 1 は、符号 4 1 A から 4 1 F で示される。このような 6 つのチャンバ構成では、一つおきのチャンバ区画 4 1 は、非処理チャンバ区画であり、その他のチャンバ区画 4 1 は、処理チャンバ区画であり得る。処理チャンバ区画は、3 種の異なる処理ガス 1 1 1 , 1 1 2 をそれぞれ使用する。

## 【 0 0 9 7 】

他の例では、2 つの処理チャンバ区画 4 1 が、2 種の異なる処理ガス 1 1 1 , 1 1 2 をそれぞれ使用し、第 3 の処理チャンバ区画 4 1 を、その他の処理に使用することができる。その他の処理とは、例えば、レーザアニーリング、プラズマ処理、熱処理などである。チャンバ区画 4 1 の適切な数は、例えば、2 から 1 2、あるいは、3 から 8 である。4 つのチャンバ区画 4 1 の配置は、より有用であることが見込まれる。その理由は、パージチャンバ区画 4 1 によって隔離されて処理チャンバ 4 1 を一つおきに配置できること、あるいは、レーザアニーリング、熱処理などの他の非処理ガスの処理が可能になることである。

## 【 0 0 9 8 】

## レーザアニーリングでの複数チャンバ A L D システム

図 8 は、図 1 と同様の図であり、システム 1 0 の一例を示す。このシステム 1 0 は、任意でレーザシステム 3 0 0 を含む。レーザシステム 3 0 0 は、処理チャンバ 2 0 に対して動作可能に配置される。レーザシステム 3 0 0 は、レーザ光線 3 1 2 を出射するレーザ 3 1 0 を含む。またレーザシステム 3 0 0 は、光線調整光学システム 3 1 6 およびミラー 3 2 0 を含む。光線調整光学システム 3 1 6 は、レーザ光線 3 1 2 を調整するとともに、成形する。ミラー 3 2 0 は、レーザ光線 3 1 2 を任意のチャンバ区画 4 1 内の所望の位置に方向づける。一例では、レーザ光線 3 1 2 は、ハウジング 3 0 を通って、ハウジング 3 0 内に動作可能に配置された窓 3 9 から、所望のチャンバ区画 4 1 の内部 4 0 に入射する。他の実施形態では、選択チャンバ区画 4 1 は、(例えば、管状の形態の)内部部分を含み得る。内部部分は、レーザシステム 3 0 0 まで延びる。そして、内部部分を通して、レーザ光線 3 1 2 は進み、ウエハ 7 0 の表面 7 2 を照射する。一例では、レーザシステム 3 0 0 は、制御部 1 8 0 に動作可能に接続される。

## 【 0 0 9 9 】

レーザ光線 3 1 2 は、ウエハ 7 0 の表面 7 2 またはその表面 7 2 に形成される A L D 膜 7 4 へ入射する。チャンバ区画 4 1 は、レーザシステム 3 0 0 に動作可能に配置される。このチャンバ区画 4 1 は、レーザ促進 A L D (「L E - A L D」)を実行するために使用される。レーザシステム 3 0 0 は、一つ以上のチャンバ区画 4 1 に対して動作可能に配置

することができる。これにより、チャンバ区画 4 1 を通るウエハ 7 0 の任意のサイクルに対して、レーザ処理を 1 回以上実施することができる（すなわち、回転可能なプラテン 6 0 の各 1 回転において、複数回のレーザ処理を行うことができる。）。例えば、上述の 4 つのチャンバ区画配置では、2 つのパージチャンバ区画（例えば、4 0 B および 4 0 D）を、LE - ALD 処理部として構成することができる。

#### 【0100】

図 9 は、チャンバ区画 4 1 内のウエハ 7 0 の上方斜視図であり、ウエハ 7 0 の表面 7 2 で線画像 3 1 4 を形成するレーザ光線 3 1 2 を示す。一例では、線画像 3 1 2 は固定されており、ウエハ 7 0 の表面 7 2（または、そこに形成された ALD 膜 7 4）が、矢印 AR で示すように線画像 3 1 4 の下を走査する。これにより、チャンバ区画 4 1 内でレーザアニーリングが行われ、ALD 膜成長処理が促進される。一例では、チャンバ区画 4 1 は、上述のパージガス 1 4 2 を含むか、処理ガスシステム 1 0 0 からの処理ガス（例えば、処理ガス 1 1 1 または 1 1 2）を含む。処理ガスとしては、例えば、アニーリングまたはレーザ処理中に、走査された線画像 3 1 4 によって加熱されたウエハ 7 0 の表面 7 2 の局所加熱部と反応するようなものが選択される。線画像 3 1 4 は、その長手方向と直交する方向に走査される。

#### 【0101】

一例では、線画像 3 1 4 は、線長  $L_L$  を有する。線長  $L_L$  は、ウエハ 7 0 の幅  $W_d$  以上の幅（例えば、200 mm 径のウエハについて 200 mm 以上の長さ  $L$ ）を有する。また線画像 3 1 4 は、線幅  $W_L$  を有する。レーザアニーリングが約 1 ミリ秒（ms）で実現されるような線幅  $W_L$  を有することが好ましい。回転可能なプラテン 6 0 が 60 RPM で動作する場合、および、回転可能なプラテン 6 0 が 20 個の 200 mm ウエハ 7 0 を保持する場合、ウエハ 7 0 は、およそ 4000 mm / 秒で動く。 $W_L = 4$  mm のレーザ光線 3 1 2 の幅では、アニーリング時間が 1 ミリ秒かかる。一例では、ウエハ 7 0 の表面 7 2 における線画像 3 1 4 の線長  $L_L$  および線幅  $W_L$  は、光線調整光学システム 3 1 6 によって規定される。ミラー 3 2 0 の位置は、レーザ光線 3 1 2 が選択角度（例えば、法線入射、ブルースター角（偏光角）など）でウエハ 7 0 の表面 7 2 に入射するように調整され得る。

#### 【0102】

システム 1 0 を用いて実行されるレーザアニーリング処理の一例では、ウエハ 7 0 の表面 7 2 において、600 から 1000 の間のピーク温度  $T_S$  が生じる。回転可能なプラテン 6 0 の温度が 200 である場合には、レーザ光線 3 1 2 は、ウエハ 7 0 の表面温度  $T_S$  を 400 から 800 の間の温度まで上昇させる必要がある。

#### 【0103】

レーザ光線 3 1 2 の波長  $\lambda$  としては、レーザ光線 3 1 2 がレーザアニールの熱拡散距離以内で吸収されるような波長  $\lambda$  を用いることが望ましい。1 ミリ秒のアニールおよびシリコンウエハ 7 0 では、熱拡散距離は、およそ 100 ミクロン（ $\mu m$ ）である。したがって、吸収長は 100 ミクロン未満（ $< 100$  ミクロン）とすることが望ましい。シリコンウエハ 7 0 の場合、これはレーザ波長  $\lambda$  が約 1 ミクロン未満であることを意味する。

#### 【0104】

短時間で高温のアニーリングを行うことにより、塑性変形ではなく弾性変形を起こすことが明らかとなっているため、ウエハ 7 0 の各地点で約 1 ミリ秒のアニーリング時間（「滞留時間」）を有することが望ましい。このようにして、薄い ALD 膜 7 4 およびシリコンウエハ 7 0 は、弾性的に拡張する。ピーク温度の要望とともに、このような要望を満たすことで、十分に適切なレーザ 3 0 0 を設計することができる。

#### 【0105】

処理チャンバ 2 0 の 4 つのチャンバ区画の実施形態において、チャンバ区画 4 1 A および 4 1 C の一方または両方がレーザアニーリング処理チャンバ区画であり、チャンバ区画 4 1 B および 4 1 D が非処理チャンバ区画であることに留意すべきである。実行可能な ALD 処理の実施と調和する処理チャンバ区画および非処理チャンバ区画のあらゆる組み合わせが、システム 1 0 において用いられる。

10

20

30

40

50

## 【0106】

プラズマ処理に伴う複数チャンバのALDシステム

図10は、図1および図8と同様の図であり、システム10の一実施形態を示す。このシステム10は、プラズマ源システム400を含む。プラズマ源システム400は、処理チャンバ20に対して動作可能に配置される。プラズマ源システム400は、制御部180と動作可能に接続され得る。図11は、プラズマ410を放射するプラズマ源システム400の側方斜視図である。プラズマ410は、チャンバ区画41内においてウエハ70の表面72へ流れる。

## 【0107】

プラズマ410は、プラズマ種（例えば、酸素ラジカル $O^*$ などの帯電されたイオン）を含む。プラズマ種は、ウエハ70の表面72またはALD膜層74Lと化学反応する。ALD膜層74Lは、ウエハ70の表面72上に存在する。プラズマ410は、プラズマ源システム400とウエハ70の表面72との間の圧力差に起因して、ウエハ70の表面72の方へ移動する。一例では、プラズマ源システム400は、一つ以上のチャンバ区画41に対して動作可能に配置される。したがって、一例では、システム10は、チャンバ区画41の少なくとも一つにおいてプラズマ促進ALD（PE-ALD）を実行するために用いられる。他の例では、例えば、パージチャンバ区画41または非処理チャンバ区画41に対して、プラズマ源システム400を動作可能に配置することによって、プラズマ410は、処理工程間でウエハ70を清浄化するために使用されることができる。

## 【0108】

スループットの検討

本明細書に開示されたシステムおよび方法は、比較的高スループットの処理ウエハ70を提供するように設計されている。高スループットの一例は、1時間に、10個以上の6インチウエハに対して0.25ミクロン以上の材料を堆積させることである。

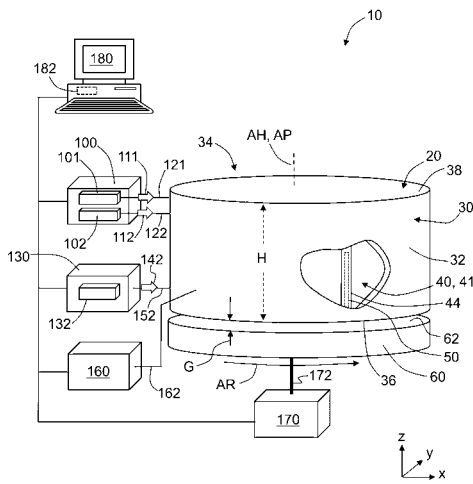
## 【0109】

ここで、システム10を使用したGaNの形成処理の一例であって、表2に記載の基本処理を用いた上述の対応する方法について検討する。GaN結晶格子は、0.3nmの大きさを有する。各サイクルについて一層のALD膜層74Lを堆積させながら、回転可能なプラテン60について60RPMの回転速度で、1時間に3600サイクル（すなわち、完全な回転）の回転を行う。これにより、1時間で厚さ $TH_F$ が約1ミクロンのGaNを有するALD膜を成長させることができる。処理チャンバの大きさ（例えば、回転可能なプラテン60の半径R）は、ウエハ70の個数を決定する。ウエハ70の個数は、回転可能なプラテン60に適合するが、回転可能なプラテン60の半径Rは、単一の回転可能なプラテン60上に20個以上の6インチウエハ70を収容するのに十分な大きさに形成される。これは、上述の高スループット処理の例の2倍の量のウエハ70および4倍の厚さの膜に相当する。すなわち、約8倍のスループットの改善を意味する。

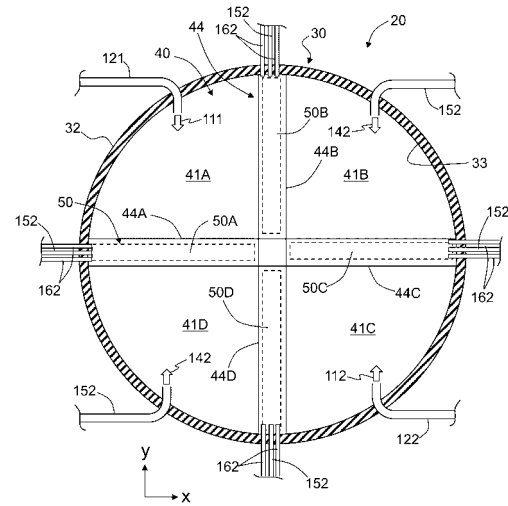
## 【0110】

当業者には明白であるが、添付される特許請求の範囲で規定された本開示の精神または範囲から逸脱することなく、本明細書中に記載された本開示の好ましい実施形態に対して様々な変更を加えることができる。したがって、本開示は、添付の特許請求の範囲及びその均等範囲内で行われる本開示の修正及び変更を包含する。

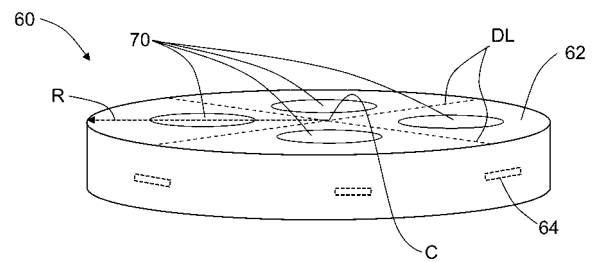
【図 1】



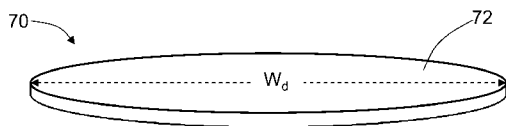
【図 2】



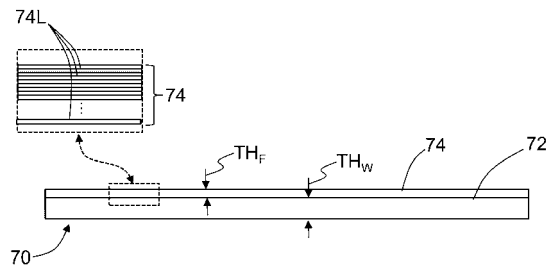
【図 3】



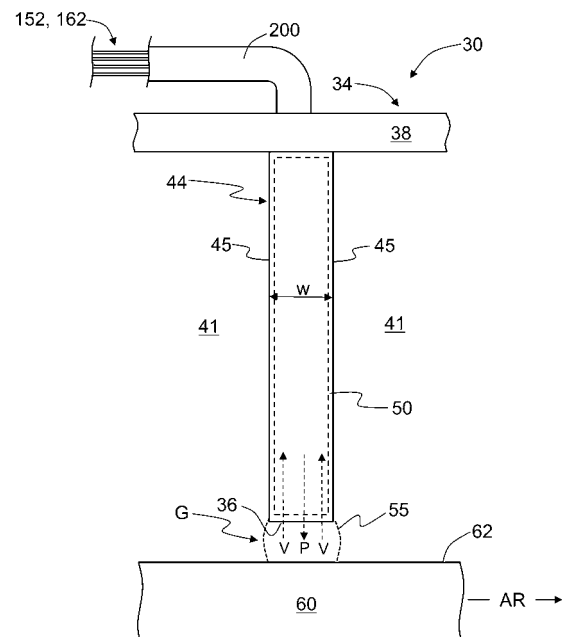
【図 4 A】



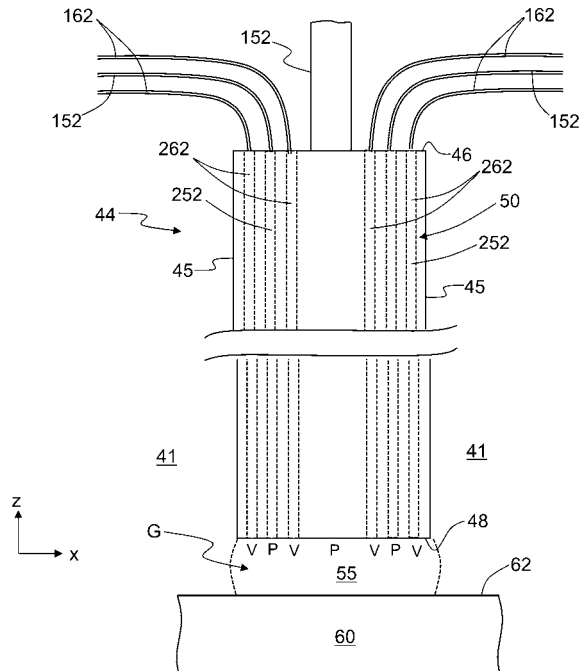
【図 4 B】



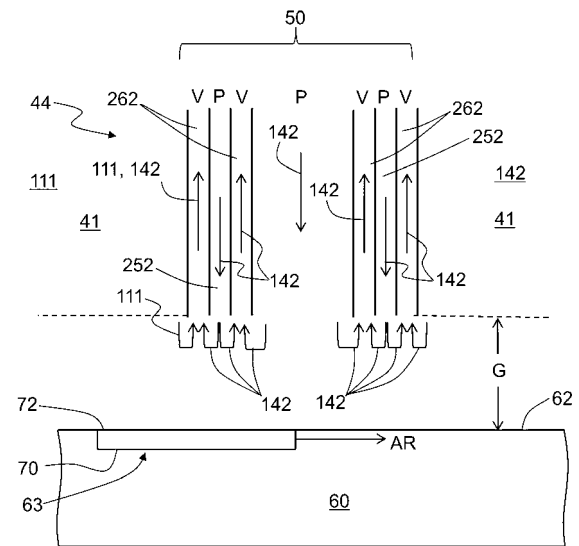
【図 5 A】



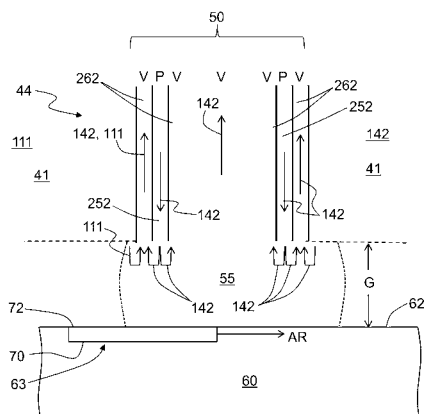
【図 5 B】



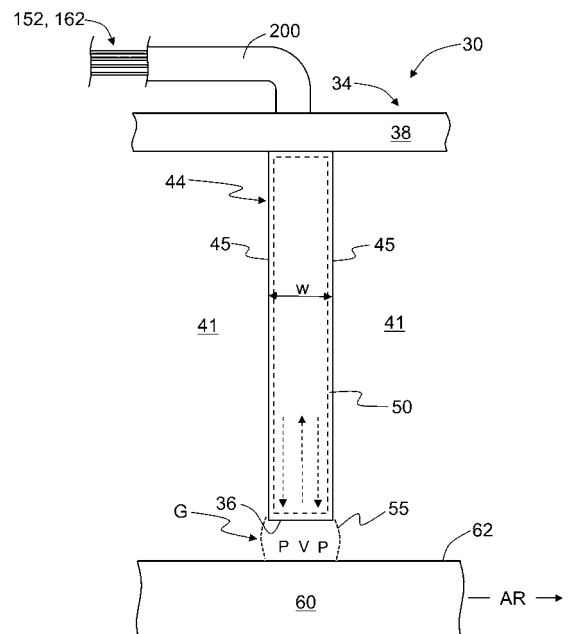
【図 5 C】



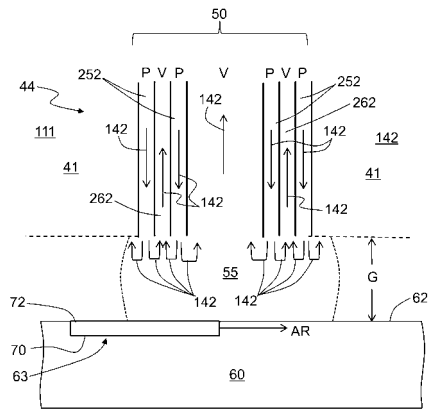
【図 5 D】



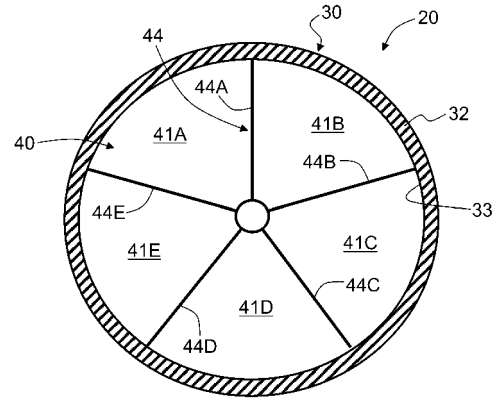
【図 6 A】



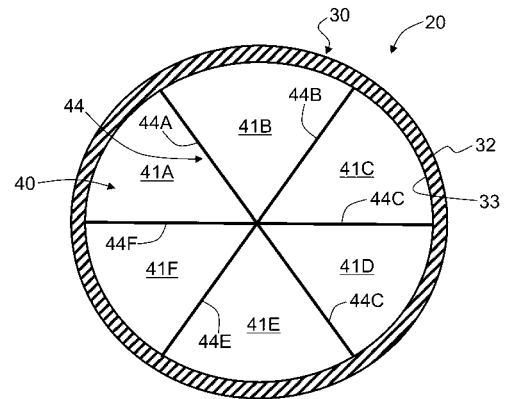
【 図 6 B 】



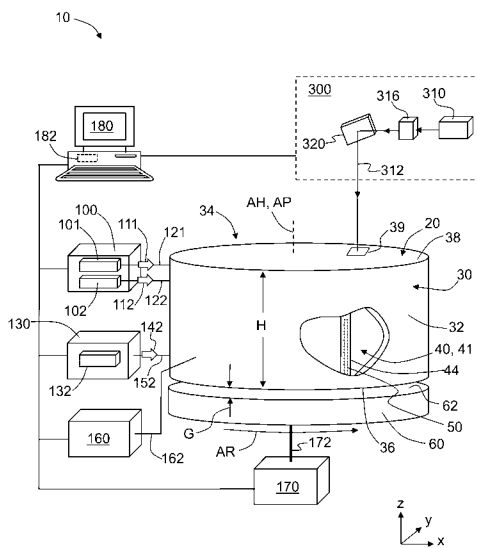
【 図 7 A 】



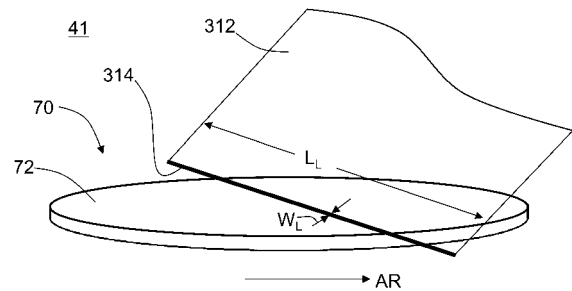
【 図 7 B 】



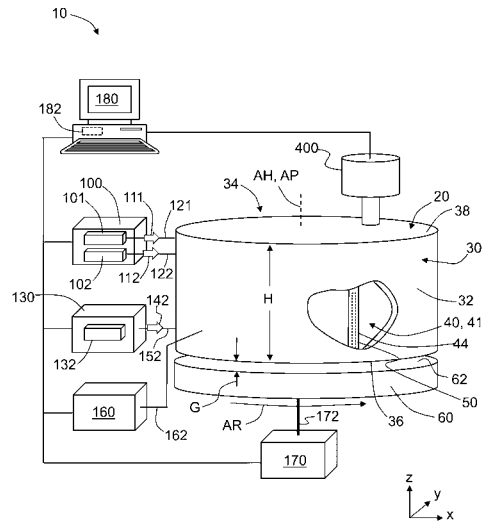
【圖 8】



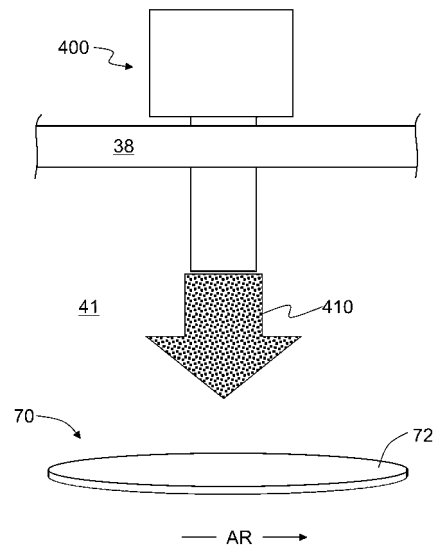
【 図 9 】



【図 10】



【図 11】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)  
H 0 1 L 21/316 (2006.01) H 0 1 L 21/316 X

(72)発明者 ハウリーラック、エム、アンドリュー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 2 4 ロスアルトス キャーメル テラス 1 2 0 7

F ターム(参考) 4K030 AA11 AA14 AA18 BA08 BA38 BA43 CA04 CA12 EA03 FA01  
FA07 FA10 GA06 HA01 JA03 JA12 LA14 LA15  
5F045 AA04 AA08 AA12 AA15 AB14 AB31 AC00 AC08 AC15 AD08  
AD09 AD10 AD11 AD12 AE01 BB09 DP15 DP27 DQ10 DQ12  
DQ14 EC03 EF17 EK06 EK18  
5F058 BA11 BC03 BF05 BF06 BF07 BF27 BF29 BG01 BG04

## 【 外国語明細書 】

**HIGH-THROUGHPUT MULTICHAMBER ATOMIC  
LAYER DEPOSITION SYSTEMS AND METHODS****FIELD**

**[0001]** The present disclosure relates to atomic layer deposition, and in particular relates to atomic layer deposition systems and methods having high throughput.

**[0002]** The entire disclosure of any publication or patent document mentioned herein is incorporated by reference, including U.S. Patents No. 5,997,963; 6,066,210; 7,833,351; 8,877,300; and U.S. Patent Application Publications No. US 2010/0183825 and US 2013/0196078.

**BACKGROUND**

**[0003]** Atomic layer deposition (ALD) is a method of depositing a thin film on a substrate in a very controlled manner. The deposition process is controlled by using two or more chemicals in vapor form (i.e., “process gasses”) and reacting them sequentially and in a self-limiting manner on the surface of the substrate such as a silicon wafer. The sequential process is repeated to build up the thin film layer by layer, wherein the layers are atomic scale.

**[0004]** The ALD is used to form a wide variety of films, such as binary, ternary and quaternary oxides for advanced gate and capacitor dielectrics, as well as metal-based compounds for interconnect barriers and capacitor electrodes.

**[0005]** The ALD process can be carried out in a single chamber system, as is well known in the art. However, the ALD process is relatively slow as compared to for example chemical vapor deposition and like processes. The typical ALD process introduces a first process gas into the single process chamber. The sample sits in this environment for a short period of time to expose the surface to the first process gas. Typically, less than 1 sec is required for this step, and it has been shown that only a few milliseconds are actually required.

**[0006]** Once the surface is saturated with the first process gas, the first process gas is pumped out of the process chamber. Then an inert or purge gas is flowed through the process chamber. Then a second process gas is introduced into the process chamber. The second process gas reacts with the surface of the substrate that was saturated by the first

process gas. The purpose of the inert gas flowing through the process chamber before the second process gas is flowed into the process chamber is to ensure that all of the original unreacted process gas is removed. The second process gas reacts with the surface of the substrate that was saturated with the first process gas. Once this second reaction process is completed (in a few milliseconds), the second process gas is removed and the process chamber is again purged with an inert gas. Then, the first process gas is introduced into the process chamber and the entire reaction sequence is repeated until an ALD film of a desired thickness is obtained.

**[0007]** The basic reason why an ALD process is slow is not related to the reaction rate of the process gasses at the surface of the substrate. This reaction is relatively quick. The ALD process takes a long time because of the time required to flow process gas into the process chamber, pump out the process gas, flow inert gas, pump out the inert gas, then flow the next process gas into the process chamber, etc. It is the flow mechanics that limit the throughput of the ALD and not the reaction rates. Each deposition sequence usually takes several seconds, and an entire cycle can take minutes.

**[0008]** Furthermore, the primary reason why the ALD process is expensive is that each ALD layer that makes up the ALD film consumes relatively large quantities of expensive process gasses. Typically, the process chamber is much larger than the substrate. With each cycle, the process gas is pumped out. The actual utilization of the process gases in the ALD reactions is typically a small fraction of 1%.

**[0009]** To speed up the ALD process, multiple ALD chambers can be used. Alternatively, a large chamber that contains multiple substrates can be used to perform what is known as batch processing. Either way, speeding up the ALD process to increase the throughput of the substrates translates into reduced cost per the substrate. In addition, simplification of the ALD systems can also be used to reduce costs. In particular, reducing the cost of ownership of the ALD system (and in particular, a multichamber ALD system) can be used to reduce the cost per the substrate.

**[0010]** Consequently, there is a need for improved ALD systems and methods that increase throughput while avoiding complexity that adds to the system costs and to the production costs.

**SUMMARY**

**[0011]** The present disclosure is directed to ALD systems and methods that simplify the ALD process while also reducing the cost of the ALD process by reducing the amounts of process gasses used. Aspects of the ALD systems and methods include containing the process gases within separate chamber sections of a process chamber and moving the substrate between the separate chamber sections without having to remove the process gases from the chamber sections.

**[0012]** An aspect of the disclosure is a process chamber for a multichamber ALD system for performing ALD on multiple wafers. The process chamber includes: a housing having an interior divided into multiple chamber sections by chamber dividers disposed within the interior, the housing having an open bottom end; a rotatable platen having a central axis and an upper surface that supports the multiple wafers and that is operably disposed with its upper surface adjacent the bottom end of the housing and spaced apart therefrom by a gap, wherein the rotatable platen is rotatable to move the wafers between the multiple chamber sections; and a pneumatic valve operably disposed in each chamber divider, wherein each pneumatic valve is in pneumatic communication with the upper surface of the rotatable platen within the gap and forms a pneumatic partition between adjacent chamber sections.

**[0013]** Another aspect of the disclosure is the process chamber described above, wherein the interior of the housing has a circular cross-section.

**[0014]** Another aspect of the disclosure is the process chamber described above, wherein the gap is between 50 microns and 500 microns.

**[0015]** Another aspect of the disclosure is the process chamber described above, wherein the rotatable platen is configured to rotate at a rotation rate of between 10 and 200 revolutions per minute.

**[0016]** Another aspect of the disclosure is the process chamber described above, wherein the chamber dividers define between three and eight chamber sections.

**[0017]** Another aspect of the disclosure is the process chamber described above, wherein each pneumatic valve includes either: i) a central purge gas channel sandwiched by two vacuum channels; or ii) a central vacuum channel sandwiched by two purge gas channels.

**[0018]** Another aspect of the disclosure is the process chamber described above, wherein the multiple chamber sections include: first and second process chamber sections that are not adjacent and that are operably connected to respective first and second process gas sources; and first and second non-process chamber sections that are not adjacent and that are operably connected to a purge gas source.

**[0019]** Another aspect of the disclosure is the process chamber described above, the process chamber further includes a laser system operably arranged with respect to at least one of the multiple chamber sections.

**[0020]** Another aspect of the disclosure is the process chamber described above, the process chamber further includes a plasma source system operably arranged with respect to at least one of the multiple chamber sections.

**[0021]** Another aspect of the disclosure is the process chamber described above, wherein each chamber section is configured to accommodate a single wafer.

**[0022]** Another aspect of the disclosure is the process chamber described above, wherein the wafers each have a thickness  $TH_w$ , and wherein each chamber section has an interior height  $H$  in the range  $10 \cdot TH_w \leq H \leq 50 \cdot TH_w$ .

**[0023]** Another aspect of the disclosure is the process chamber described above, wherein the pneumatic valve includes either a V-P-V pneumatic configuration or a P-V-P pneumatic configuration, where V stands for vacuum and P stands for pressure.

**[0024]** Another aspect of the disclosure is a multichamber ALD system that includes the process chamber disclosed herein and as described above; a process gas system operably connected to at least two of the chamber sections; and a purge gas system operably connected to at least two of the chamber sections different than the two chamber sections operably connected to the process gas system.

**[0025]** Another aspect of the disclosure is the multichamber ALD system described above, the multichamber ALD system further includes at least one of: i) a laser system operably

connected to at least one of the chamber sections; and ii) a plasma source system operably connected to at least one the chamber sections.

**[0026]** Another aspect of the disclosure is the multichamber ALD system described above, wherein the process gas system contains first and second process gas supplies that respectively contain first and second process gasses.

**[0027]** Another aspect of the disclosure is the multichamber ALD system described above, wherein the multiple chamber sections consist of four chamber sections.

**[0028]** Another aspect of the disclosure is the multichamber ALD system described above, wherein the wafers each have a thickness  $TH_w$ , and wherein each chamber section has an interior height  $H$  in the range  $10 \cdot TH_w \leq H \leq 50 \cdot TH_w$ .

**[0029]** Another aspect of the disclosure is the multichamber ALD system described above, wherein the gap is in the range from 50 microns to 500 microns.

**[0030]** Another aspect of the disclosure is the multichamber ALD system described above, wherein each chamber section is configured to accommodate a single wafer.

**[0031]** Another aspect of the disclosure is a method of performing ALD on multiple wafers each having a surface to form an ALD film on each of the wafers. The method includes: supporting the multiple wafers on a surface of a platen that is spaced apart from a process chamber housing by a gap  $G$  that is 500 microns or less, wherein the process chamber housing includes multiple chamber sections; pneumatically partitioning the chamber sections; rotating the platen beneath the process chamber housing, thereby causing the wafers to move between the chamber sections; and performing an ALD process in at least one of the chambers sections as the wafers pass through the chamber sections to form the ALD film.

**[0032]** Another aspect of the disclosure is the method described above, wherein rotating the platen includes continuously rotating the platen.

**[0033]** Another aspect of the disclosure is the method described above, wherein the pneumatic partitioning is performed by pneumatic valves in pneumatic communication with the surface of the platen through the gap  $G$ .

**[0034]** Another aspect of the disclosure is the method described above, wherein the pneumatic valve includes either a V-P-V pneumatic configuration or a P-V-P pneumatic configuration, where V stands for vacuum and P stands for pressure.

**[0035]** Another aspect of the disclosure is the method described above, the method further includes performing a first ALD process in a first chamber section and performing a second ALD process in a second chamber section that is not adjacent the first chamber section.

**[0036]** Another aspect of the disclosure is the method described above, wherein each full rotation of the platen forms an ALD film layer on each wafer, and further comprising performing multiple full rotations of the platen to form an ALD film made up of multiple ALD film layers.

**[0037]** Another aspect of the disclosure is the method described above, the method further includes passing the wafers through at least one chamber section that includes a gas that does not chemically react with the surfaces of the wafers or the ALD film layer.

**[0038]** Another aspect of the disclosure is the method described above, the method further includes performing a laser process in at least one of the chamber sections.

**[0039]** Another aspect of the disclosure is the method described above, wherein the laser process includes forming a stationary line image and moving the wafer relative to the line image.

**[0040]** Another aspect of the disclosure is the method described above, wherein the laser process is performed in the presence of a process gas to perform a laser-enhanced ALD process.

**[0041]** Another aspect of the disclosure is the method described above, the method further includes performing a plasma process in at least one of the chamber sections.

**[0042]** Another aspect of the disclosure is the method described above, wherein the rotating of the platen is performed at a rotation rate that provides each wafer with a residence time within the chamber sections of between 250 milliseconds and 500 milliseconds.

**[0043]** Another aspect of the disclosure is the method described above, the method further includes performing multiple rotations of the platen so that the wafers pass through each of the chamber sections multiple times, thereby forming an ALD film on each of the surfaces of the wafers.

**[0044]** Another aspect of the disclosure is the method described above, wherein the rotating of the platen is performed at a rotation rate of between 10 rotations per minute (RPM) and 200 RPM.

**[0045]** Another aspect of the disclosure is the method described above, wherein the rotation rate is between 30 and 100 RPM.

**[0046]** Other aspects of the method include performing at least one of laser processing and plasma processing of the wafers in one or more of the chamber sections. The rotation rate of the rotatable platen is limited only by the reaction rates of the particular process gasses with the surface of wafer or the ALD film layer formed on the surface of wafer during each full platen rotation.

**[0047]** Additional features and advantages are set forth in the Detailed Description that follows, and in part will be readily apparent to those skilled in the art from the description or recognized by practicing the embodiments as described in the written description and claims hereof, as well as the appended drawings. It is to be understood that both the foregoing general description and the following Detailed Description are merely exemplary, and are intended to provide an overview or framework to understand the nature and character of the claims.

#### **BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS**

**[0048]** The accompanying drawings are included to provide a further understanding, and are incorporated in and constitute a part of this specification. The drawings illustrate one or more embodiment(s), and together with the Detailed Description serve to explain principles and operation of the various embodiments. As such, the disclosure will become more fully understood from the following Detailed Description, taken in conjunction with the accompanying Figures, in which:

**[0049]** FIG. 1 is a schematic diagram of a high-throughput multichamber ALD system according to the disclosure;

**[0050]** FIG. 2 is a top-down cut-away view of an example process chamber that includes four dividers that define four chamber sections;

**[0051]** FIG. 3 is a top elevated view of an example platen showing four wafers operably supported thereon;

**[0052]** FIG. 4A is a top-elevated view of an example wafer that includes a surface on which is formed an ALD film using the system and methods disclosed herein;

**[0053]** FIG. 4B is a cross-sectional view of the wafer of FIG. 4A, further including an ALD film formed on the surface of the wafer, wherein the close-up inset shows the ALD film as formed from multiple ALD film layers;

**[0054]** FIGS. 5A through 5D are close-up cross-sectional views of the platen and the adjacent divider, illustrating the operation of the pneumatic valve within the divider to form a pneumatic partition between adjacent chamber sections;

**[0055]** FIG. 6A is similar to FIG. 5A and illustrates an example P-V-P pneumatic configuration for the pneumatic valve disclosed herein;

**[0056]** FIG. 6B is similar to FIG. 5C and illustrates another example P-V-P pneumatic configuration for the pneumatic valve disclosed herein;

**[0057]** FIGS. 7A and 7B are similar to FIG. 2 and illustrated two different chamber embodiments that include five chamber sections (FIG. 7A) and six chamber sections (FIG. 7B).

**[0058]** FIG. 8 is similar to FIG. 1 and illustrates an example multichamber ALD system that includes a laser system operably arranged to perform laser processing (e.g., laser annealing, laser-enhanced ALD, etc.) in at least one of the chamber sections;

**[0059]** FIG. 9 is a top elevated view of a wafer within a chamber section and showing a laser beam forming a line image at a surface of a wafer, wherein the line image is scanned over the surface of the wafer by the movement of the wafer underneath to perform laser processing as part of the overall ALD process;

**[0060]** FIG. 10 is similar to FIG. 8 and illustrates an example multichamber ALD system that includes a plasma source system operably arranged to perform plasma processing (e.g., plasma-enhanced ALD) in at least one of the chamber sections; and

**[0061]** FIG. 11 is a close-up view of a wafer in the chamber section that has plasma processing capability and showing the plasma flowing from the plasma source system to the surface of the wafer.

#### **DETAILED DESCRIPTION**

**[0062]** Reference is now made in detail to various embodiments of the disclosure, examples of which are illustrated in the accompanying drawings. Whenever possible, the same or like reference numbers and symbols are used throughout the drawings to refer to the same or like parts. The drawings are not necessarily to scale, and one skilled in the art will recognize where the drawings have been simplified to illustrate the key aspects of the disclosure.

**[0063]** The claims as set forth below are incorporated into and constitute part of this Detailed Description.

**[0064]** Cartesian coordinates are shown in some of the Figures for the sake of reference and are not intended to be limiting as to direction or orientation.

**[0065]** In the discussion below, a “process gas” may be constituted by one or more gas constituents or may consist of a single gas constituent. A process gas is one that is reactive with the surface of a substrate (wafer), including an ALD film layer that is formed on the surface of the wafer.

**[0066]** Also in the discussion below, a “purge gas” is a non-reactive gas such nitrogen or one or more other inert gasses that do not react in any substantial way with the surface of the wafer or an ALD film layer that is formed on the surface of the wafer.

**[0067]** The phrase “between P and Q” as used below where P and Q are numerical values includes the values P and Q.

**[0068]** In the discussion below, a full rotation of the platen is one where the platen rotation starts from an initial position and returns to the initial position, i.e., the platen rotates 360 degrees.

**[0069]** In the discussion below, two process gasses 111 and 112 are discussed by way of example. When referring generally to a “process gas,” the reference number 111 is used for convenience, and it will be understood that such reference can also apply to the other process gas 112 or additional process gases.

**[0070] Multichamber ALD system**

**[0071]** FIG. 1 is a schematic diagram of a high-throughput multichamber ALD system (“system”) 10. The system 10 includes a process chamber 20, an example of which is shown in a top-down cut-away view in FIG. 2. The process chamber 20 includes a housing 30 that has a side wall 32 with an inner surface 33, a top end 34 and a bottom end 36. The housing 30 has a central housing axis AH. The top end 34 includes a top wall 38 while the bottom end 36 is open. In an example, the side wall 32 is cylindrical with a circular cross-sectional shape. In another example, the housing 30 can have a side wall 32 of any reasonable cross-sectional shape, including having multiple facets, but preferably having its inner surface 33 defining a circular cross-sectional shape.

**[0072]** The housing 30 of process chamber 20 includes an interior 40 having a height (“interior height”) H as measured between the top and bottom ends 34 and 36 of the housing 30. The interior 40 includes dividers 44 that in an example radially extend from the central housing axis AH. FIG. 2 shows an example where the housing 30 includes four dividers 44, individually denoted as 44A, 44B, 44C and 44D. Each divider 44 includes opposite sides 45, a top edge 46 and a bottom edge 48. The dividers 44 define within the interior 40 multiple chamber sections 41. In an example, the dividers 44 are arranged such that all of the chamber sections 41 have substantially the same size, shape and volume. The four example dividers 44A through 44D that define four chamber sections 41A through 41D are shown in FIG. 2. Each divider 44 includes a pneumatic valve 50, e.g., the four dividers 44A through 44D have respective pneumatic valves 50A through 50D, as shown in FIG. 2 and as described in greater detail below. Each divider 44 has a width w, which in an example is in the range from  $5\text{ mm} \leq w \leq 25\text{ mm}$  (see FIG. 5A, introduced and discussed below). In an example, the opposite sides 45 of each divider 44 are planar.

**[0073]** As discussed below, the system 10 is configured to process multiple wafers 70 having a thickness  $TH_w$  and a diameter or width  $W_d$ . In an example, the interior height H can

be selected so that the chamber sections 41 use relatively small amounts of process gas or purge gas when processing the wafers 70. In an example, the interior height  $H$  is in the range  $5 \cdot TH_W \leq H \leq 100 \cdot TH_W$  or  $10 \cdot TH_W \leq H \leq 50 \cdot TH_W$  or  $10 \cdot TH_W \leq H \leq 20 \cdot TH_W$ . Thus, for an example wafer thickness  $TH_W = 750$  microns, an example interior height  $H$  can be between about 1 cm and 5 cm.

**[0074]** The process chamber 20 also includes a rotatable platen 60. FIG. 3 is a top-elevated view of an example rotatable platen 60. The rotatable platen 60 has an upper surface 62, a center  $C$ , a central axis  $AP$  that passes through the center  $C$ , and a radius  $R$ . The upper surface 62 of the rotatable platen 60 is configured to support a plurality of the wafers 70 (e.g., 4 wafers, as shown) to be processed. The dashed lines  $DL$  in FIG. 3 show an example position of where the four dividers 44 can reside above the upper surface 62 so that one wafer 70 resides in each chamber section 41. In an example, the rotatable platen 60 constitutes an electrostatic chuck that serves to hold the wafers 70 in place and keep them flat.

**[0075]** The rotatable platen 60 is arranged adjacent the bottom end 36 of housing 30 and spaced apart therefrom in the  $z$ -direction to define a gap  $G$ . In an example, the gap  $G$  is in the range from 50 microns to 500 microns. In an example, the gap  $G < 1$  mm. In an example, the upper surface 62 of rotatable platen 60 includes recesses 63 each sized to accommodate a wafer 70 so that the surface 72 of the wafer 70 resides at or below the upper surface 62 of the rotatable platen 60 (See FIG. 5C, introduced and discussed below). In an example, the recesses 63 are formed such that the surface 72 of the wafer 70 is flush with the upper surface 62 of the rotatable platen 60. In an example, at least one of the housing 30 and the rotatable platen 60 is movable in the  $z$ -direction so that the wafers 70 can be operably disposed on the upper surface 62 of the rotatable platen 60, as well as to adjust the size of gap  $G$ .

**[0076]** FIG. 4A is a top-elevated view of an example wafer 70, which includes an upper surface ("surface") 72 on which the ALD process is carried out, as described below. Each chamber section 41 is configured to accommodate at least one wafer 70, e.g., at least one 100 mm wafer, or at least one 200 mm wafer or at least one 300 mm wafer or at least one 450 mm wafer. In an example, each chamber section 41 can contain multiple wafers 70. In an example, if the centers of wafers 70 with a diameter  $W_d = 200$  mm are placed

approximately 750 mm from the center C of rotatable platen 60, then a total of twenty 200 mm wafers can be supported on the upper surface 62 of the rotatable platen 60. If the centers of the wafers are placed approximately 425 mm from the center C of rotatable platen 60, then a total of ten 200 mm wafers can be supported on the upper surface 62 of the rotatable platen 60.

**[0077]** The radius R of the rotatable platen 60 needed to support  $n$  wafers of diameter  $W_d$  can be approximated by the equation:

$$R = (n \cdot (W_d)) / (2\pi) + (W_d/2)$$

**[0078]** FIG. 4B is a cross-sectional view of wafer 70 illustrating an example ALD film 74 formed on the upper surface 72 of the wafer 70 using the system 10 and the methods described herein. The close-up inset in FIG. 4B shows that the ALD film 74 is made up of a number of individual layers 74L formed during each ALD deposition process or cycle, as described below. The layers 74L of the ALD film 74 may not actually be discrete but are shown as such to illustrate how the ALD film 74 is built up layer by layer in stages to a desired thickness  $TH_F$ .

**[0079]** In an example, the rotatable platen 60 is configured to heat the wafers 70 to up to 400 °C to facilitate the ALD process. This heating capability can be achieved, for example, by one or more heating elements 64 operably arranged either within or in thermal contact with the rotatable platen 60, as shown in FIG. 3.

**[0080]** With reference again to FIG. 1, the system 10 also includes a process gas system 100 that is operably connected to the process chamber 20. In an example, the process gas system 100 includes a first process gas supply 101 that contains a first process gas 111 and a second process gas supply 102 that contains a second process gas 112. Additional process gas supplies can also be used, depending on the particular ALD process being carried out, and two process gas supplies 101, 102 are shown by way of example. In the art of ALD, a process gas 111 and 112 is also referred to as a “precursor” or a “precursor gas.”

**[0081]** With reference also to FIG. 2, in an example, the first process gas supply 101 is operably connected to the chamber section 41A via a first gas line 121 and the second process gas supply 102 is operably connected to the chamber section 41C via a second gas line 122. The process gas system 100 can also include additional process gases and

additional gas lines to other chamber sections 41, such as employed in embodiments where laser annealing or other process is carried out as part of the ALD process, as discussed below.

**[0082]** The system 10 also includes a purge gas system 130 that is operably connected to the process chamber 20. The purge gas system 130 includes a purge gas supply 132 that contains a purge gas 142, such as nitrogen or another inert gas. In the example shown in FIG. 2, the purge gas supply 132 is operably connected to the chamber sections 41B and 41D via purge gas lines 152, as illustrated in FIG. 2. The purge gas supply 132 is also operably connected to the pneumatic valves 50 (e.g., pneumatic valves 50A through 50D) in each divider 44 (e.g., in respective dividers 44A through 44D) via additional purge gas lines 152.

**[0083]** The system 10 also includes a vacuum system 160 operably connected to the pneumatic valves 50 in the dividers 44 via vacuum lines 162.

**[0084]** The chamber sections 41 can be kept at a substantially constant pressure, i.e., they need not have their particular gas pumped out and then added back again as is done in conventional ALD systems. Rather, the gas remains in the given chamber section 41 and the wafers 70 are moved into the different chambers sections 41 via the rotation of rotatable platen 60 beneath the housing 30. This also creates a slight pressure differential with respect to the pneumatic valves 50 that reside between the chamber sections 41. In one example, this pressure differential is “negative” encourages the flow of gas into the gaps G under the dividers 44 and into the pneumatic valves 50, which substantially prevents the flow of gas to the adjacent chamber section 41 by creating gas curtain between the chamber sections 41. In another example, the pressure differential is “positive” so that flow of purge gas 142 from the pneumatic valves 50 discourages the flow of gas in the adjacent chamber sections 41 into the corresponding gap G under the divider 44.

**[0085]** Because the process gases 111, 112, etc. remain in their respective chamber sections 41 rather than being pumped out between process steps, the system 10 substantially reduces the cost of the ALD deposition process. As noted above, a large portion of the ALD process cost is associated with the process gas 111, 112. In prior art systems, a process chamber for a 200 mm wafer and that has a 10 mm chamber height occupies approximately 500 cm<sup>3</sup> and the gas pressure is nominally 100 millitorr. For each ALD film layer, all the process gas is pumped out and replaced. For a 1000 layer pair, 2 x 500

$\text{cm}^3 \times 1000 \times 100 \text{ millitorr} = 10^5 \text{ cm}^3\text{-torr}$  of expensive gas is consumed. In the system 10 and the related methods disclosed herein, the volume of a chamber section 41 is filled once so that about 1000 times less process gas is consumed.

**[0086]** With reference again to FIG. 1, the system 10 also includes a drive motor 170 operably connected to the rotatable platen 60 via a mechanical drive device 172, such as a drive shaft, so that the rotatable platen 60 rotates about its central axis AP, as indicated by arrow AR. In an example, the central axis AP of the rotatable platen 60 is co-axial with the central housing axis AH, as shown in FIG. 1.

**[0087]** The system 10 further includes a controller 180 operably connected to the process gas system 100, the purge gas system 130 and the vacuum system 160 and the drive motor 170. The controller 180 is generally configured to control the operation of system 10, e.g., by instructions embodiment in a non-transitory computer-readable medium 182 within or operably connected to the controller 180.

**[0088]** FIGS. 5A through 5D are four different close-up x-z cross-sectional views of the rotatable platen 60 and the adjacent divider 44 that separates adjacent chamber sections 41, and showing the pneumatic valve 50 within the divider 44. The pneumatic valves 50 can also be referred to as Bernoulli valves. The pneumatic valve 50 is operably connected to the vacuum system 160 and the purge gas system 130, e.g., via a conduit 200 that includes the purge gas lines 152 and the vacuum lines 162. The pneumatic valve 50 includes at least one purge gas channel 252 operably connected to the at least one purge gas line 152, and includes at least two vacuum channels 262 operably connected to the at least two vacuum lines 162. The purge gas channels 252 and the vacuum channels 262 run generally in the z-direction from the top edge 46 to the bottom edge 48 of divider 44 and are open at the bottom edge 48.

**[0089]** The process chamber 20 is configured such that each chamber section 41 contains a particular gas, e.g., a particular process gas or a purge gas 142. The pneumatic valve 50 and the purge gas channels 252 and the vacuum channels 262 therein are configured to pneumatically isolate the adjacent chamber sections 41. Each pneumatic valve 50 is in pneumatic communication with the upper surface 62 of rotatable platen 60 through the gap G and forms a pneumatic partition between the adjacent chamber sections 41.

**[0090]** To accomplish this pneumatic partitioning, in one example each pneumatic valve 50 includes the at least two vacuum channels 262 that respectively reside closest to the opposite sides 45 of divider 44, and also includes the at least one purge gas channel 252 that resides between the two vacuum channels 262 (i.e., the two vacuum channels 262 sandwich the at least one purge gas channel 252). This pneumatic configuration can be described from left to right as “V-P-V,” where “V” stands for vacuum and “P” stands for purge or the pressure from the purge gas flowing from the at least one purge gas channel 252 (see FIG. 5A). The “V” corresponds to the vacuum channels 262 while the P corresponds to the purge gas channel 252. There are a variety of different types of “V-P-V” pneumatic configurations where vacuum V’s are on the “outside” while one or more pressure P’s and one or more other vacuum V’s reside between the outside vacuum V’s.

**[0091]** While it is preferable that then pneumatic partitioning between the adjacent chamber sections 41 be as robust as possible, it is noted here that it need not be perfect. In an example, some process gases 111, 112 from one chamber section 41 can migrate to the adjacent chamber section 41, and some purge gases 142 can migrate from one chamber section 41 to the adjacent chamber section 41, as long as the amount of migrating gas involved is insubstantial. Here, insubstantial means that it does not substantially alter the ALD process that occurs within the given chamber section 41, i.e., does not substantially affect the quality of the final ALD film 74 being formed. If relative few atoms of gas migrate from one chamber section 41 to another as compared to the amount of gas that is already in the chamber section 41. The impact on the formation of the final ALD film 74 will be insubstantial.

**[0092]** The example configuration of the pneumatic valve 50 shown in FIGS. 5B and 5C has a large central purge gas channel 252. Moving outward from this central purge gas channel 252 on either side is a V-P-V channel configuration. Thus, the central purge gas channel 252 configuration from the left side 45 of the divider 44 to the right side 45 defines a pneumatic configuration that can be described as V-P-V-P-V-P-V. This pneumatic configuration notation is included in FIGS. 5B and 5C for ease of understanding.

**[0093]** FIG. 5D is similar to FIG. 5C and shows a V-P-V-P-V pneumatic configuration wherein the central purge gas channel 252 has been replaced by a central vacuum channel

262, and the two innermost vacuum channels 262 have been incorporated into the larger central vacuum channel 262.

**[0094]** The basic V-P-V pneumatic configuration for the pneumatic valve 50 (i.e., purge gas 142 sandwiched by vacuum) allows for the purge gas 142 to flow through the central purge gas channel 252 into the gap G and spread out laterally only to be picked up a short distance later within the gap G on each side of the purge gas channel 252 by the adjacent vacuum channels 262. In addition, the outside vacuum channels 262 respectively collect gas from their adjacent chamber section 41. In particular, the left-most vacuum channel 262 collects the first process gas 111 from the left-side chamber section 41 and that flows into the gap G, while the right-most vacuum channel 262 collects the purge gas 142 that resides within the right-side chamber section 41 and that also flows into the gap G.

**[0095]** Likewise, the V-P-V-P-V-P-V of FIGS. 5B and 5C and the V-P-V-P-V configuration of FIG. 5D operate in a similar manner while providing additional pneumatic isolation of (i.e., pneumatic partitioning between) the adjacent chamber sections 41. In particular, with reference to the V-P-V-P-V-P-V configuration, the outermost vacuum channels 262 serve to respectively remove the first process gas 111 from the left-side chamber section 41 and the purge gas 142 from the right-side chamber section 41 as well removing the purge gas 142 from the adjacent purge gas channels 252.

**[0096]** Meanwhile, the innermost vacuum channels 262 respectively remove the purge gas 142 from the center purge gas channel 252 and the other adjacent purge gas channel 252. The downward flow of purge gas 142 under pressure in the purge gas channels 252 and the upward flow of the purge gas 142 and the first process gas 111 under vacuum in the vacuum channels 262 results in dynamic circulation of gasses that creates a gas buffer or “gas curtain” 55 that prevents the migration of substantial amounts of process gas 111, 112 and the purge gas 142 between the adjacent chamber sections 41.

**[0097]** An alternate pneumatic configuration for the pneumatic valve 50 is based on a P-V-P configuration, i.e., purge gas pressure P on the outside and vacuum V on the inside. FIG. 6A is similar to FIG. 5A and illustrates the P-V-P pneumatic configuration. The different P-V-P pneumatic configurations using the purge gas channels 252 and the vacuum channels 262 can be employed that are analogous to those in FIGS. 5B through 5D, such as P-V-P-V-P-V-P

and P-V-P-V-P. FIG. 6B is similar to FIG. 5C and illustrates another example P-V-P pneumatic configuration for the pneumatic valve 50. Thus, the P-V-P configuration calls for the at least two purge gas channels 252 and the at least one vacuum channel 262.

**[0098]** The general P-V-P configuration will typically allow some purge gases 142 to flow into the adjacent chamber sections 41. Here, the purge gas pressure P is substantially the same or slightly greater than the pressure in the adjacent chamber sections 41. In the case of one of the chamber sections 41 being a purge gas section, the migration of purge gas 142 from the pneumatic valve 50 into the purge gas chamber section 41 is of no consequence. In the case where one of the chamber sections 41 contains a process gas 111,112, the amount of purge gas 142 that enters the process gas chamber section 41 is insubstantial and thus has no substantial effect on the ALD process being carried out. On the other hand, the small amount of purge gas 142 that can migrate into the process gas chamber section 41 can serve to reduce or prevent the flow of first process gas 111 into the pneumatic valve 50, i.e., can mitigate the loss of expensive process gas.

**[0099] General method of operation**

**[00100]** In the general operation of system 10, the wafer (substrates) 70 are disposed on the upper surface 62 of rotatable platen 60 and supported thereby, such as shown in FIG. 3. The wafer 70 can be placed on the rotatable platen 60 simultaneously and can reside in the recesses 63 (see FIG. 5C). The drive motor 170 is then activated, which causes the rotatable platen 60 to rotate about its central axis AP, which in an example is co-axial with central housing axis AH as shown in FIG. 1. This acts to move the wafers 70 between the adjacent chamber sections 41, e.g., from 41A → 41B → 41C → 41D → 41A, etc. Thus, a given wafer 70 will be cycled in order between the chamber sections 41 for each full rotation of the rotatable platen 60. In an example, the rotatable platen 60 is rotated in a continuous manner, i.e., without stopping, including in one example rotating at a substantially constant rotation rate. In another example, the rotatable platen 60 can be rotated with one or more stops within a given complete or full rotation, or can be rotated using a variable rotation rate.

**[00101]** Since the surface 72 of the wafer 70 becomes saturated with the first process gas 111 in a matter of milliseconds, the rotatable platen 60 can rotate fairly quickly. For

example, if the rotatable platen 60 rotates at 60 revolutions per minute (RPM) (i.e., 1 rotation per second), a wafer 70 will reside within each chamber section 41 for a total of approximately 250 milliseconds (the “residence time”), which is sufficient to saturate the surface 72 of the wafer 70. An example range on the rotation rate for the rotatable platen 60 is between 10 RPM and 200 RPM or between 30 and 100 RPM.

**[00102]** In an example, the rotation rate of the rotatable platen 60 is such that the residence time of a wafer 70 in a given chamber section 41 is between 100 milliseconds and 1000 milliseconds (i.e., 1 second), or between 200 milliseconds and 750 milliseconds, or between 250 milliseconds and 500 milliseconds. In an example, the residence time is measured from when the leading edge of the wafer 70 first enters the chamber section 41 until when the trailing edge of the wafer 70 leaves the chamber section 41. It is noted that whatever non-uniform processing occurs by having a leading-edge portion of the wafer 70 entering a given chamber section 41 while the trailing edge remains outside of the chamber section 41 is compensated by the non-uniform exposure to the trailing-edge portion of the wafer 70 as the leading edge wafer 70 leaves and resides outside of the given chamber section 41.

**[00103]** During the rotation of rotatable platen 60 and the attendant movement of wafers 70 between the chamber sections 41, the pneumatic valves 50 in the dividers 44 respectively serve as pneumatic partitions that pneumatically isolate the adjacent chamber sections 41 while allowing for a sufficient gap G for the wafers 70 to move underneath housing 30 of process chamber 20. As explained above, this pneumatic partitioning is accomplished by a combination of the flow of purge gas 142 under pressure via the purge gas channels 252 and the judicious use of vacuum via the vacuum channels 262 operably connected to the vacuum system 160 via the vacuum lines 162. As noted above, the pneumatic valve 50 creates the gas curtain 55 that pneumatically isolates the adjacent chamber sections 41.

**[00104]** The small amount of gas (process or purge) in a given chamber section 41 that is removed by the pneumatic valves 50 is replaced using the corresponding gas source to maintain the pressure in the chamber section 41. The amount of gas lost in this manner can be kept small by adjusting the vacuum levels and the flow of purge gas 142, and by keeping

the gap G as small as possible. Also, as noted above, the consumption rate of process gas 111, 112 can be kept low or at a minimum by having a small or minimum size for the gap G.

**[00105]** In an example, every other chamber sections 41 (e.g., 41A, 41C, ...) is a processing chamber section while each intervening chamber section (e.g., 41B, 41D, ...) is a non-processing chamber section. In an example, the processing chamber sections 41 contain gasses that are different than those in the non-processing chamber sections 41. In an example, the primary purpose of non-processing chamber sections 41 are to separate the processing chamber sections 41 and to provide transition locations where the wafers 70 are prepared for the next process. In another embodiment, one or both of chamber sections 41B and 41D can also be configured as the processing chamber sections 41.

**[00106]** An example ALD process that can be carried out in the system 10 having four chamber sections 41 (41A through 41D) to form an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  film 74 is set forth in Table 1 below.

TABLE 1 - Example four-chamber process for forming $\text{Al}_2\text{O}_3$ film	
Chamber	Gas
41A	Tri-Methyl-Alumina (111)
41B	Nitrogen Purge (142)
42C	Water Vapor ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (112)
42D	Nitrogen Purge (142)

**[00107]** Another example ALD process that can be carried out in the system 10 having four chamber sections 41 (41A through 41D) to form a GaN film is set forth in Table 2 below.

**[00108]**

TABLE 2 - Example four-chamber process for forming GaN film	
Chamber	Gas
41A	Tri-Methyl-Gallium (111)
41B	Nitrogen Purge (142)
42C	Tri-Methyl-Gallium (111)
42D	Nitrogen Purge

**[00109]** The system 10 is not limited to a total of four chamber sections 41 as discussed in the examples above. FIG. 7A is similar to FIG. 2 and shows a top-down cut-away view of an

example process chamber 20 that includes five dividers 44, denoted 44A through 44E, that define five chamber sections 41, denoted 41A through 41E. In this example embodiment of the process chamber 20, chamber sections 41A, 41C and 41D can be processing sections while chamber sections 41B and 41E can be non-processing sections.

**[00110]** For example, the adjacent processing chamber sections 41C and 41D can use similar process gasses 111, 112 with one of the process chambers sections 41 performing an additional processing action, such as heating, laser annealing, the addition of another process gas without purging the original process gas 111, 112, etc. In another example, the process chamber 20 can have the adjacent purge chamber sections 41, with one of the purge chamber sections 41 also having laser-annealing capability such as described below.

**[00111]** FIG. 7B is similar to FIG. 7A and illustrates another example of process chamber 20 that has six dividers 44, denoted 44A through 44F, that define six chamber regions 41, denoted 41A through 41F. In this six-chamber configuration, every other chamber section 41 can be a non-process chamber section, while the other chamber sections 41 can be process chamber sections that respectively use three different process gases 111, 112.

**[00112]** In another example, two of the processing chamber sections 41 can respectively use two different process gasses 111, 112 and the third processing chamber section 41 can be used for another process, such as laser annealing, plasma processing, thermal processing, etc. Any reasonable number of chamber sections 41 can be used, e.g., 2 to 12 chamber sections 41 or 3 to 8 chamber sections 41. A configuration of 4 (four) chamber sections 41 is anticipated to be particularly useful because it allows for alternating process chamber sections 41 separated by purge chamber sections 41 or other non-process-gas treatments, such as laser annealing, thermal treatment, etc.

**[00113] Multichamber ALD system with laser annealing**

**[00114]** FIG. 8 is similar to FIG. 1 and illustrates an example system 10 that optionally includes a laser system 300 operably arranged relative to the process chamber 20. The laser system 300 includes a laser 310 that emits a laser beam 312. The laser system 300 can also include a beam-conditioning optical system 316 that conditions and shapes the laser beam 312, and a mirror 320 that directs the laser beam 312 to a desired location in a given chamber section 41. In an example, the laser beam 312 is directed through the housing 30

and into a desired chamber section 41 of the interior 40 via a window 39 operably arranged in the housing 30. In another embodiment, the select chamber section 41 can include a interior portion (e.g., in the form of a tube) that extends up to the laser system 300 and through which the laser beam 312 can travel to irradiate the surface 72 of wafer 70. In an example, the laser system 300 is operably connected to the controller 180.

**[00115]** The laser beam 312 is made incident upon the surface 72 of the wafer 70 or the ALD film 74 being formed therein. The chamber section 41 to which the laser system 300 is operably arranged can be used to perform laser-enhanced ALD ("LE-ALD"). The laser system 300 can be operably arranged with respect to more than one chamber section 41 so that laser processing can be performed more than once for given cycle of the wafer 70 through the chamber sections 41 (i.e., multiple laser processing can be performed for each full rotation of the rotatable platen 60). For example, in the four-chamber-section arrangement discussed above, the two purge chamber sections (say, 40B and 40D) can also be configured as LE-ALD process sections.

**[00116]** FIG. 9 is a top elevated view of the wafer 70 within a chamber section 41 and showing the laser beam 312 forming a line image 314 at the surface 72 of the wafer 70. In an example, the line image 314 is stationary and the surface 72 of the wafer 70 (or the ALD film 74 formed thereon) scans under the line image 314 as indicated by arrow AR to perform laser annealing in the chamber section 41 to facilitate the ALD film growth process. In an example, the chamber section 41 can include the aforementioned purge gas 142 or can include a process gas (e.g., process gas 111 or 112) from the process gas system 100, such as one selected to react with the locally heated portion of the surface 72 of wafer 70 heated by the scanned line image 314 during the annealing or laser-treatment process. The line image 314 is scanned in a direction orthogonal to its long dimension.

**[00117]** In an example, the line image 314 has a line length  $L_L$  that is at least as wide as the width  $W_d$  of wafer 70 (e.g., a length of  $L \geq 200$  mm for a 200 mm diameter wafer). The line image 314 also has a line width  $W_L$ . It is desirable to have the line width  $W_L$  such that the laser annealing is accomplished in approximately 1 millisecond (ms). If the rotatable platen 60 is moving at 60 RPM, and if the rotatable platen 60 holds twenty 200-mm wafers 70, then, the wafers 70 are moving at roughly 4000 mm/sec. A width of the laser beam 312 of  $W_L = 4$  mm would produce an annealing time of 1 ms. In an example, the line length  $L_L$  and

the line width  $W_L$  of line image 314 at the surface 72 of the wafer 70 is defined by the beam-conditioning optical system 316. The position of the mirror 320 can be adjusted so that the laser beam 312 is incident upon the surface 72 of wafer 70 at a select angle (e.g., normal incidence, the Brewster angle, etc.).

**[00118]** An example laser annealing process performed using the system 10 generates a peak temperature  $T_S$  at the surface 72 of the wafer 70 of between 600 °C and 1000 °C. If the temperature of rotatable platen 60 is at 200 °C, then the laser beam 312 needs to raise the surface temperature  $T_S$  of wafer 70 by 400 °C to 800 °C.

**[00119]** It is also desirable to use a wavelength  $\lambda$  for the laser beam 312 such that the radiation of the laser beam 312 is absorbed within the thermal diffusion length of the laser anneal. For a 1 ms anneal, and a silicon wafer 70, the thermal diffusion length is roughly 100 microns. Hence, it is desirable that the absorption length be < 100 microns. For a silicon wafer 70, this implies that the laser wavelength  $\lambda$  be less than approximately 1 micron.

**[00120]** It is desirable to have an annealing time of approximately 1 ms at each point on the wafer 70 (i.e., a “dwell time”) because it has been shown that high temperature annealing for short durations produces elastic deformations rather than plastic deformations. This way, the thin ALD film 74 and the silicon wafer 70 expand elastically. This requirement, along with the peak temperature requirement, is sufficient to adequately design the laser system 300.

**[00121]** It is noted that in the four-chamber-section embodiment of process chamber 20, one or both of chamber sections 41A and 41C can be a laser-annealing process chamber sections while chamber sections 41B and 41D can be non-processing chamber sections. Any combination of processing and non-processing chamber sections consistent with carrying out a viable ALD process can be used in the system 10.

**[00122] Multichamber ALD system with plasma processing**

**[00123]** FIG. 10 is similar to FIG. 1 and FIG. 8 and illustrates an embodiment of the system 10 that includes a plasma source system 400 operably arranged relative to the process chamber 20. The plasma source system 400 can be operably connected to the controller 180. FIG. 11 is a side elevated view of the plasma source system 400 emitting a plasma 410 that flows toward the surface 72 of the wafer 70 within the chamber section 41.

**[00124]** The plasma 410 includes plasma species (e.g., charged ions, such as oxygen radicals  $O^*$ ) that chemically react with the surface 72 of wafer 70 or the ALD film layer 74L that resides on the surface 72 of the wafer 70. The plasma 410 moves towards the surface 72 of the wafer 70 due to the pressure differential between the plasma source system 400 and the surface 72 of the wafer 70. In an example, the plasma source system 400 can be operably arranged relative to more than one chamber section 41. Thus, in an example, the system 10 can be used to perform plasma-enhanced ALD (PE-ALD) in at least one of the chamber sections 41. In another example, the plasma 410 can be used to clean the wafers 70 between processing steps, e.g., by providing the plasma source system 400 in operable arrangement with respect to a purge or non-process chamber section 41.

**[00125] Throughput considerations**

**[00126]** The systems and methods disclosed herein are designed to provide relatively high throughput of processed wafers 70. An example of a high throughput is 10 or more 6-inch wafers 70 per hour having deposited thereon 0.25 micron or more of material.

**[00127]** Consider now example process of forming GaN using the system 10 and the corresponding methods as described above using the basic process set forth in Table 2. A GaN crystal lattice has a dimension of 0.3 nm. At a 60 RPM rotation rate for the rotatable platen 60, there are 3600 cycles (i.e., full rotations) per hour, with each cycle depositing one ALD film layer 74L, so that we can grow an ALD film 74 with a thickness  $TH_F$  of about 1 micron of GaN in one hour. The process chamber size (e.g., radius R of rotatable platen 60) determines the number of wafers 70 that can fit on the rotatable platen 60, but the radius R of the rotatable platen 60 can be made large enough to accommodate more than 20 six-inch wafers 70 on a single rotatable platen 60. This is twice as many wafers 70 and four times the film thickness of the example high-throughput process mentioned above, i.e., represents about an 8X throughput improvement.

**[00128]** It will be apparent to those skilled in the art that various modifications to the preferred embodiments of the disclosure as described herein can be made without departing from the spirit or scope of the disclosure as defined in the appended claims. Thus, the disclosure covers the modifications and variations provided they come within the scope of the appended claims and the equivalents thereto.

What is claimed is:

1. A process chamber for a multichamber atomic layer deposition (ALD) system for performing ALD on multiple wafers, comprising:
  - a housing having an interior divided into multiple chamber sections by chamber dividers disposed within the interior, the housing having an open bottom end;
  - a rotatable platen having a central axis and an upper surface that supports the multiple wafers and that is operably disposed with its upper surface adjacent the bottom end of the housing and spaced apart therefrom by a gap, wherein the rotatable platen is rotatable to move the wafers between the multiple chamber sections; and
  - a pneumatic valve operably disposed in each chamber divider, wherein each pneumatic valve is in pneumatic communication with the upper surface of the rotatable platen within the gap and forms a pneumatic partition between adjacent chamber sections.
2. The process chamber according to claim 1, wherein the interior of the housing has a circular cross-section.
3. The process chamber according to claim 1 or 2, wherein the gap is between 50 microns and 500 microns.
4. The process chamber according to any of claims 1 through 3, wherein the rotatable platen is configured to rotate at a rotation rate of between 10 and 200 revolutions per minute.
5. The process chamber according to any of claims 1 through 4, wherein the chamber dividers define between three and eight chamber sections.
6. The process chamber according to any of claims 1 through 5, wherein each pneumatic valve includes either:
  - i) a central purge gas channel sandwiched by two vacuum channels; or
  - ii) a central vacuum channel sandwiched by two purge gas channels.

7. The process chamber according to any of claims 1 through 6, wherein the multiple chamber sections include:
- first and second process chamber sections that are not adjacent and that are operably connected to respective first and second process gas sources; and
  - first and second non-process chamber sections that are not adjacent and that are operably connected to a purge gas source.
8. The process chamber according to any of claims 1 through 7, further comprising a laser system operably arranged with respect to at least one of the multiple chamber sections.
9. The process chamber according to any of claims 1 through 8, further comprising a plasma source system operably arranged with respect to at least one of the multiple chamber sections.
10. The process chamber according to any of claims 1 through 9, wherein each chamber section is configured to accommodate a single wafer.
11. The process chamber according to any of claims 1 through 10, wherein the wafers each have a thickness  $TH_w$ , and wherein each chamber section has an interior height  $H$  in the range
- $$10 \cdot TH_w \leq H \leq 50 \cdot TH_w.$$
12. The process chamber according to any of claims 1 through 11, wherein the pneumatic valve includes either a V-P-V pneumatic configuration or a P-V-P pneumatic configuration, where V stands for vacuum and P stands for pressure.
13. A multichamber ALD system, comprising:
- the process chamber according to any of claims 1 through 12;
  - a process gas system operably connected to at least two of the chamber sections;
- and

a purge gas system operably connected to at least two of the chamber sections different than the two chamber sections operably connected to the process gas system.

14. The multichamber ALD system according to claim 13, further comprising at least one of:

- i) a laser system operably connected to at least one of the chamber sections; and
- ii) a plasma source system operably connected to at least one the chamber sections.

15. The multichamber ALD system according to claim 13 or 14, wherein the process gas system contains first and second process gas supplies that respectively contain first and second process gasses.

16. The multichamber ALD system according to any of claims 13 through 16, wherein the multiple chamber sections consist of four chamber sections.

17. The multichamber ALD system according to any of claims 13 through 16, wherein the wafers each have a thickness  $TH_w$ , and wherein each chamber section has an interior height  $H$  in the range  $10 \cdot TH_w \leq H \leq 50 \cdot TH_w$ .

18. The multichamber ALD system according to any of claims 13 through 17, wherein the gap is in the range from 50 microns to 500 microns.

19. The multichamber ALD system according to any of claims 13 through 18, wherein each chamber section is configured to accommodate a single wafer.

20. A method of performing atomic layer deposition (ALD) on multiple wafers each having a surface to form an ALD film on each of the wafers, comprising:

- supporting the multiple wafers on a surface of a platen that is spaced apart from a process chamber housing by a gap  $G$  that is 500 microns or less, wherein the process chamber housing includes multiple chamber sections;
- pneumatically partitioning the chamber sections;

rotating the platen beneath the process chamber housing, thereby causing the wafers to move between the chamber sections; and

performing an ALD process in at least one of the chambers sections as the wafers pass through the chamber sections to form the ALD film.

21. The method according to claim 20, wherein rotating the platen includes continuously rotating the platen.

22. The method according to claim 20 or 21, wherein the pneumatic partitioning is performed by pneumatic valves in pneumatic communication with the surface of the platen through the gap G.

23. The method according to claim 22, wherein the pneumatic valve includes either a V-P-V pneumatic configuration or a P-V-P pneumatic configuration, where V stands for vacuum and P stands for pressure.

24. The method according to any of claims 20 through 23, further comprising performing a first ALD process in a first chamber section and performing a second ALD process in a second chamber section that is not adjacent the first chamber section.

25. The method according to any of claims 20 through 24, wherein each full rotation of the platen forms an ALD film layer on each wafer, and further comprising performing multiple full rotations of the platen to form an ALD film made up of multiple ALD film layers.

26. The method according to claim 25, further comprising passing the wafers through at least one chamber section that includes a gas that does not chemically react with the surfaces of the wafers or the ALD film layer.

27. The method according to any of claims 20 through 26, further comprising performing a laser process in at least one of the chamber sections.

28. The method according to claim 27, wherein the laser process includes forming a stationary line image and moving the wafer relative to the line image.
29. The method according to claim 27 or 28, wherein the laser process is performed in the presence of a process gas to perform a laser-enhanced ALD process.
30. The method according to any of claims 20 through 29, further comprising performing a plasma process in at least one of the chamber sections.
31. The method according to claim 30, wherein the rotating of the platen is performed at a rotation rate that provides each wafer with a residence time within the chamber sections of between 250 milliseconds and 500 milliseconds.
32. The method according to any of claims 20 through 31, further comprising performing multiple rotations of the platen so that the wafers pass through each of the chamber sections multiple times, thereby forming an ALD film on each of the surfaces of the wafers.
33. The method according to any of claims 20 through 32, wherein the rotating of the platen is performed at a rotation rate of between 10 rotations per minute (RPM) and 200 RPM.
34. The method according to claim 33, wherein the rotation rate is between 30 and 100 RPM.

ABSTRACT

ALD systems and methods having high throughput are disclosed. The ALD systems and methods employ a process chamber that has multiple chamber sections defined by interior chamber dividers. The wafers to be processed are supported on a platen that rotates beneath a process chamber housing with a small gap therebetween so that the wafers are moved between the chamber sections. The multiple chamber sections are pneumatically partitioned by the dividers and by pneumatic valves operably disposed therein and in pneumatic communication with the platen surface through the gap. Some chamber sections are used to perform an ALD process using process gasses, while other chamber sections are transition sections that include a purge gas. Some chamber sections can be employed to perform a laser process or a plasma process on the wafers passing therethrough.

Representative drawing : Fig. 2

1/14

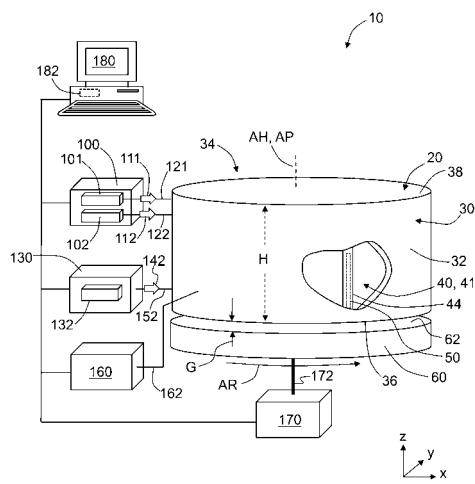


FIG. 1

2/14

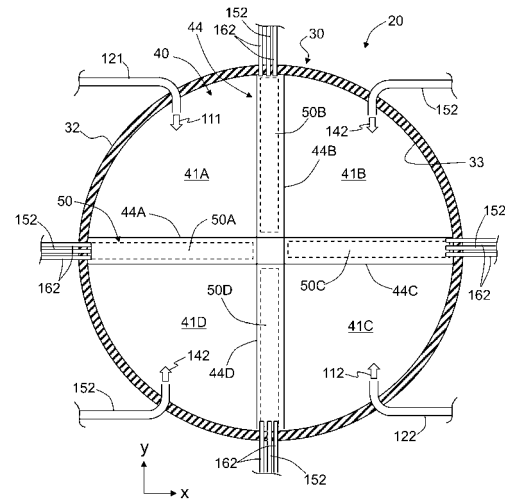


FIG. 2

3/14

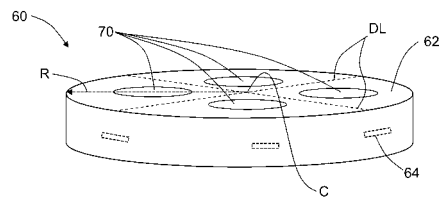


FIG. 3

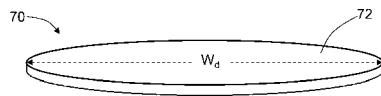


FIG. 4A

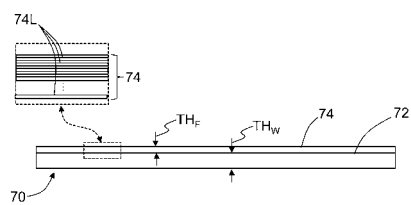


FIG. 4B

4/14

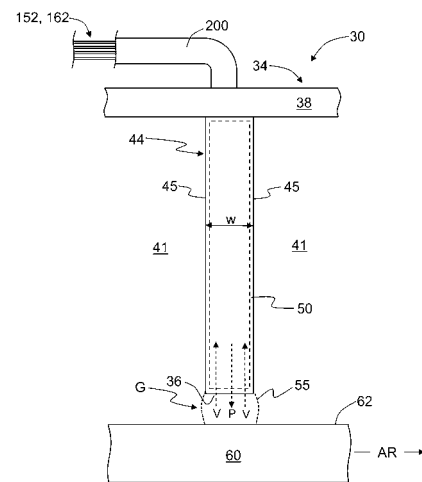


FIG. 5A



**FIG. 5B**



**FIG. 5C**



**FIG. 5D**



FIG. 6A

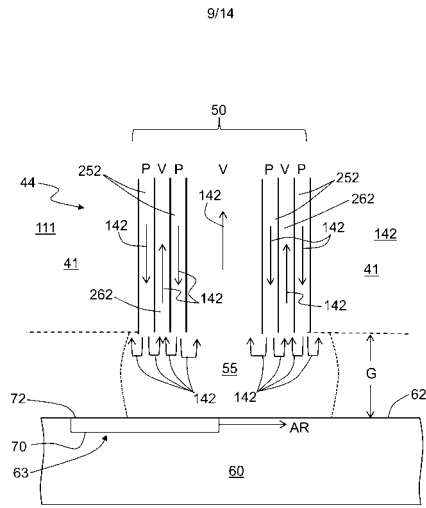


FIG. 6B

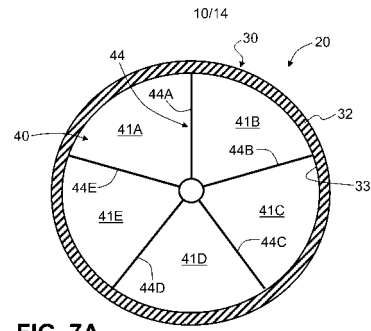


FIG. 7A

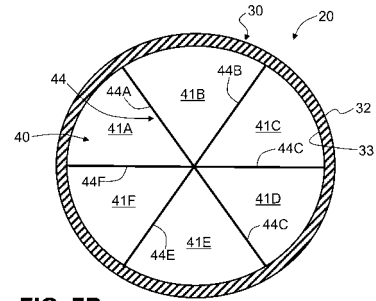


FIG. 7B

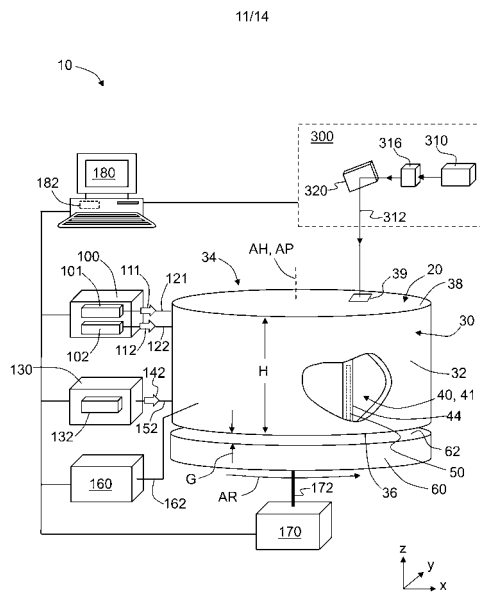


FIG. 8

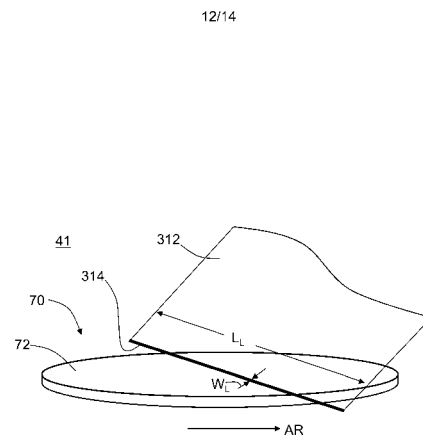


FIG. 9

13/14

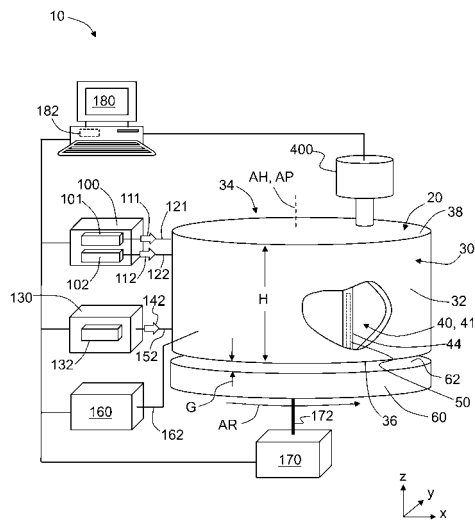


FIG. 10

14/14

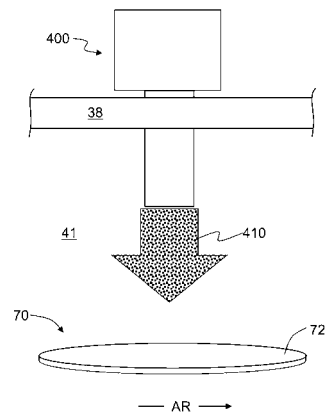


FIG. 11