(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2005-503017
(P2005-503017A)
(43)公表日　平成17年1月27日(2005.1.27)

(51)Int.Cl.[7]	F I	テーマコード（参考）
H01L 21/304	H01L 21/304 643A	
	H01L 21/304 648Z	

審査請求 未請求　予備審査請求 有　（全 110 頁）

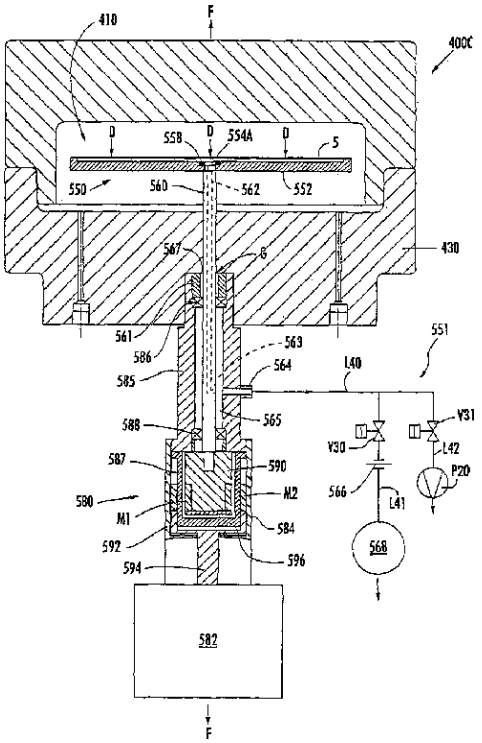
(21)出願番号	特願2003-527775 (P2003-527775)
(86)(22)出願日	平成14年7月30日 (2002.7.30)
(85)翻訳文提出日	平成16年3月15日 (2004.3.15)
(86)国際出願番号	PCT/US2002/024004
(87)国際公開番号	WO2003/023827
(87)国際公開日	平成15年3月20日 (2003.3.20)
(31)優先権主張番号	09/951,355
(32)優先日	平成13年9月13日 (2001.9.13)
(33)優先権主張国	米国 (US)

(71)出願人　500445402
マイセル・テクノロジーズ，インコーポレイテッド
アメリカ合衆国ノースカロライナ州２７６１３，ローリー，プレシジョン・ドライヴ　７５１６
(74)代理人　100099623
弁理士　奥山　尚一
(74)代理人　100096769
弁理士　有原　幸一
(74)代理人　100107319
弁理士　松島　鉄男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】駆動手段を含む圧力チャンバアセンブリ

(57)【要約】
基板（５）を処理するための圧力チャンバアセンブリ（４００）は、密閉圧力チャンバ（４１０）を規定する圧力容器を含む。基板ホルダ（５５２）は、圧力チャンバ（４１０）内に配置され、基板（５）を保持するように適合される。駆動アセンブリ（５８０）は、基板ホルダ（５５２）を動かすように動作する。駆動アセンブリ（５８０）は、圧力容器に対して基板ホルダ（５５２）とともに動く基板ホルダに接続された第１の駆動部材（５６０、５９０）と、第１の駆動部材および圧力チャンバから流体的に絶縁された第２の駆動部材（５９２、５９４）とを含む。駆動ユニット（５８２）は、第２の駆動部材（５９２、５９４）を動かすように動作する。駆動ユニット（５８２）は、第１の駆動部材（５６０、５９０）および圧力チャンバ（４１０）から流体的に絶縁される。第２の駆動部材（５９２、５９４）は、駆動ユニット（５８２）が第１および第２の駆動部材を介して基板ホルダ（５５２）を動かすことができるように、第１の駆動部材（５６０、５９０）と非機械的に連結する。



【特許請求の範囲】
【請求項１】
基板を処理するための圧力チャンバアセンブリであって、前記圧力チャンバアセンブリは、
ａ）密閉圧力チャンバを規定する圧力容器と、
ｂ）前記圧力チャンバ内に配置され、前記基板を保持するように適合された基板ホルダと、
ｃ）前記基板ホルダを動かすように動作する駆動アセンブリと
を含み、前記駆動アセンブリは、
前記圧力容器に対して基板ホルダとともに動く、基板ホルダに接続された第１の駆動部材と、
前記第１の駆動部材および前記圧力チャンバから流体的に絶縁された第２の駆動部材と、
前記第２の駆動部材を動かすように動作し、前記第１の駆動部材および前記圧力チャンバから流体的に絶縁された駆動ユニットと
を含み、前記駆動ユニットが前記第１および第２の駆動部材を介して前記基板ホルダを動かすことができるように、前記第２の駆動部材が前記第１の駆動部材と非機械的に連結する圧力チャンバアセンブリ。
【請求項２】
前記第２の駆動部材が前記第１の駆動部材と磁気的に連結する請求項１の圧力チャンバアセンブリ。
【請求項３】
前記第１の駆動部材に取り付けられた第１の磁石と、
前記第１の磁石と隣接しかつ間隔を置いて設けられた前記第２の駆動部材に取り付けられた第２の磁石と、
前記第１および第２の磁石が相互に流体的に絶縁されるように、前記第１の磁石と前記第２の磁石との間に挿間されたハウジングと
を含む請求項２の圧力チャンバアセンブリ。
【請求項４】
前記駆動アセンブリが、前記圧力容器と気密シールを形成するとともに、前記圧力チャンバと流体連通する二次チャンバを規定するハウジングを含み、かつ
前記第１の駆動部材が前記二次チャンバ内に配置され、前記第２の駆動部材が前記二次チャンバ外に配置される請求項１の圧力チャンバアセンブリ。
【請求項５】
前記第１の駆動部材が前記基板ホルダに接続されたシャフトを含み、前記駆動アセンブリが前記シャフトと前記ハウジングとの間に挿間された軸受をさらに含む請求項４の圧力チャンバアセンブリ。
【請求項６】
前記駆動アセンブリが前記圧力容器に対して前記基板ホルダを回転させるように動作する請求項１の圧力チャンバアセンブリ。
【請求項７】
基板を処理するための圧力チャンバアセンブリであって、
ａ）密閉圧力チャンバを規定する圧力容器と、
ｂ）前記圧力チャンバ内に配置され、前記基板を保持するように適合された基板ホルダと、
ｃ）前記圧力容器に対して前記基板ホルダを動かすように動作する磁気駆動アセンブリと
を含む圧力チャンバアセンブリ。
【請求項８】
基板を処理するための圧力チャンバアセンブリであって、
ａ）密閉圧力チャンバを規定する圧力容器と、前記圧力チャンバと流体連通する外部開口と、

ｂ）前記圧力チャンバ内に配置され、前記基板を保持するようにされた基板ホルダと、および
ｃ）前記圧力容器に対して前記基板ホルダを動かすように動作するとともに、前記圧力チャンバの前記外部開口を密閉するように前記外部開口を覆うハウジングを含む駆動アセンブリと
を含む圧力チャンバアセンブリ。
【請求項９】
前記駆動アセンブリが、前記外部開口まで延在するとともに前記基板ホルダに接続された駆動部材を含む請求項８の圧力チャンバアセンブリ。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、圧力チャンバに関し、さらに詳しく言えば、駆動手段を含む圧力チャンバアセンブリに関する。
【背景技術】
【０００２】
集積回路（ＩＣ）、光電子デバイス、マイクロ機械デバイス、および他の高精度の製造物が、一般に、基板に適用される薄膜を用いて形成される。製造プロセスの一環として、基板から薄膜の一部分またはすべてを除去または洗浄することが必要な場合が多い。例えば、ＩＣを含む半導体ウェハの製造において、半導体基板に薄いフォトレジスト層が塗布され、その後に除去されることがある。
【０００３】
さまざまな製造ステップの後（例えば、イオン注入後、「後工程」（ＢＥＯＬ：ｂａｃｋ ｅｎｄ ｏｆ ｔｈｅ ｌｉｎｅ）洗浄、「前工程」（ＦＥＯＬ：ｆｒｏｎｔ ｅｎｄ ｏｆ ｔｈｅ ｌｉｎｅ）洗浄、および化学機械平坦化（ＣＭＰ）後のステップの後）、マイクロ電子基板の表面特徴から除去される汚染物質の性質および組成が激変する。したがって、汚染物質との反応、汚染物質のイオン化、溶解、膨張、分散、乳化、または基板からの気化のいずれかを行うのに適切な化学物質および溶剤を用いて、洗浄および処理ステップが、これらの汚染物質に対処しなければならない。このようにして、広範囲の廃棄材料に対処すべく、さまざまな水系および溶剤系のシステム、およびドライ洗浄プロセスが開発されてきた。
【発明の開示】
【０００４】
本発明の方法の実施形態によれば、マイクロ電子基板を洗浄するための方法は、基板を圧力チャンバ内に配置することを含む。高密度相CO_2を含むプロセス流体は、基板と接触するようにチャンバ内を循環する。CO_2の相は、プロセス流体を循環させるステップの少なくとも一部分の間、周期的に調整（cyclically modulate）される。
【０００５】
本発明のさらなる方法の実施形態によれば、マイクロ電子基板を洗浄する方法は、基板を圧力チャンバ内に配置することを含む。高密度相CO_2を含むプロセス流体は、チャンバ内にある基板に吹き付けられる。CO_2の相は、プロセス流体を吹き付けるステップの少なくとも一部分の間、周期的に調整される。
【０００６】
本発明のさらなる方法の実施形態によれば、マイクロ電子基板を洗浄する方法は、基板がCO_2にさらされるように、高密度相CO_2を含むプロセス流体を収容する圧力チャンバ内に基板を設けることを含む。CO_2の相は、CO_2の供給源とチャンバとの間およびチャンバと低圧源との間のCO_2流量を変えることによって周期的に調整される。CO_2の供給源の圧力は、チャンバの圧力より高く、低圧源の圧力は、チャンバの圧力より低い。
【０００７】
本発明のさらなる方法の実施形態によれば、マイクロ電子基板を洗浄するための方法は、

基板を圧力チャンバ内に配置することを含む。高密度相CO_2を含むプロセス流体は、基板と接触することによって基板を洗浄するように、チャンバ内に導入される。プロセス流体の一部分が、チャンバから除去される。このプロセス流体の一部分は、チャンバ内に再導入される。

【０００８】

本発明のさらなる方法の実施形態によれば、マイクロ電子基板を洗浄するための方法は、基板を圧力チャンバ内に配置することを含む。高密度相CO_2を含むプロセス流体は、基板と接触することによって基板を洗浄するように、チャンバ内に導入される。プロセス流体の一部分が、チャンバから除去される。チャンバから除去されたプロセス流体の一部分が蒸留されて、CO_2をプロセス流体の他の成分から分離する。分離されたCO_2は、チャンバ内に再導入される。

【０００９】

本発明のさらなる方法の実施形態によれば、マイクロ電子基板を洗浄するための方法は、CO_2を含むプロセス流体を用いて、プロセスチャンバ内の基板を洗浄することを含む。使用されたプロセス流体は、プロセスチャンバから除去される。CO_2は、使用されたプロセス流体から分離される。分離されたCO_2は、このプロセスチャンバまたはさらなるプロセスチャンバにおいて再使用される。

【００１０】

本発明の実施形態によれば、マイクロ電子基板を洗浄するための装置は、圧力チャンバと、高密度相CO_2を含むプロセス流体が基板と接触するように、チャンバ内にプロセス流体を循環させる手段とを含む。この装置は、プロセス流体が循環している間、CO_2の相を調整するための手段をさらに含む。

【００１１】

本発明のさらなる実施形態によれば、高密度相CO_2を含むプロセス流体を用いてマイクロ電子基板を洗浄するための装置は、圧力チャンバを含む。吹き付け部材は、チャンバ内にある基板にプロセス流体を吹き付けるように動作する。この装置は、CO_2の相を周期的に調整するための手段をさらに含む。

【００１２】

本発明の実施形態によれば、マイクロ電子基板を洗浄するための装置は、高密度相CO_2を含むプロセス流体を収容する圧力チャンバを含む。CO_2の供給源は、チャンバと流体連通するように接続される。CO_2の供給源の圧力は、チャンバの圧力より高い。低圧源は、チャンバと流体連通するように接続される。低圧源の圧力は、チャンバの圧力より低い。流体制御デバイスは、CO_2の供給源とチャンバとの間およびチャンバと低圧源との間でCO_2流量を変えることによって、チャンバ内のCO_2の相を周期的に調整するように動作する。

【００１３】

本発明の実施形態によれば、マイクロ電子基板を洗浄するための装置は、圧力チャンバと、チャンバと流体連通するように接続された高密度相CO_2を含むプロセス流体の供給源とを含む。蒸留システムは、チャンバと流体連通するように接続され、プロセス流体からCO_2を分離するように動作する蒸留器を含む。蒸留システムは、分離されたCO_2をこのチャンバまたはさらなるチャンバに導入するように動作する。

【００１４】

本発明の実施形態によれば、マイクロ電子基板を洗浄するための装置は、CO_2を含むプロセス流体を収容するプロセスチャンバと、使用されたプロセス流体をプロセスチャンバから除去するための手段とを含む。この装置は、CO_2を使用されたプロセス流体から分離するための手段と、このプロセスチャンバまたは引き続き使用するためのさらなるプロセスチャンバに分離されたCO_2を戻すための手段とをさらに含む。

【００１５】

本発明の実施形態によれば、基板とともに使用するためのプロセスチャンバアセンブリは、容器と基板ホルダとを含む。容器は、チャンバを規定する。基板ホルダは、回転軸を有

するとともに、前面およびその反対側の背面を含む。前面は、基板を支持するように適合される。少なくとも１つのインペラ羽根は、背面から後方に向かって、かつ回転軸に対して放射状に延在する。インペラ羽根は、回転軸の周りを基板ホルダが回転するとき、基板を基板ホルダに保持するような圧力差を発生させるように動作する。プロセスチャンバアセンブリは、背面から後方に向かって、かつ回転軸に対して放射状に延在する複数のインペラ羽根を含むことが好ましい。

【００１６】

本発明のさらなる実施形態によれば、基板とともに使用するための基板ホルダは、回転軸を有するとともに、前面およびその反対側の背面をさらに含む。前面は、基板を支持するように適合される。少なくとも１つのインペラ羽根は、背面から後方に向かって、かつ回転軸に対して放射状に延在する。インペラ羽根は、回転軸の周りを基板ホルダが回転するとき、基板を基板ホルダに保持するような圧力差を発生させるように動作する。基板ホルダは、背面から後方に向かって、かつ回転軸に対して放射状に延在する複数のインペラ羽根を含むことが好ましい。

【００１７】

本発明の方法の実施形態によれば、回転軸を中心に基板ホルダを回転させるための方法は、基板ホルダを設けることを含む。基板ホルダは、前面およびその反対側の背面を含む。前面は、基板を支持するように適合される。少なくとも１つのインペラ羽根は、背面から後方に向かって、かつ回転軸に対して放射状に延在する。基板ホルダは、インペラ羽根が、基板を基板ホルダに保持するような圧力差を発生させるように、回転軸を中心にして回転する。

【００１８】

本発明の実施形態によれば、基板とともに使用するための圧力チャンバアセンブリは、容器と基板ホルダアセンブリとを含む。容器は、圧力チャンバを規定する。基板ホルダアセンブリは、圧力チャンバ内に配置されているとともに基板を支持するように適合された前面を含む基板ホルダと、二次チャンバを規定するハウジングとを含む。少なくとも１つの接続通路が、基板ホルダの前面と二次チャンバとの間を流体連通させる。接続通路は、基板が基板ホルダの前面上に載置されると、基板によって覆われるように適合される。受動型低圧源は、二次チャンバと流体連通するように接続される。

【００１９】

本発明のさらなる実施形態によれば、基板とともに使用するための圧力チャンバアセンブリは、容器と基板ホルダアセンブリとを含む。容器は、圧力チャンバを規定する。基板ホルダアセンブリは、圧力チャンバ内に配置されているとともに基板を支持するように適合された前面を含む基板ホルダと、二次チャンバを規定するハウジングとを含む。制限通路が、圧力チャンバと二次チャンバとの間を流体連通させる。少なくとも１つの接続通路が、基板ホルダの前面と二次チャンバとの間を流体連通させる。接続通路は、基板が基板ホルダの前面上に載置されると、基板によって覆われるように適合される。低圧源は、二次チャンバと流体連通するように接続される。

【００２０】

本発明の方法の実施形態によれば、基板を圧力チャンバ内の基板ホルダに保持するための方法は、第１の圧力を圧力チャンバに提供することを含む。圧力チャンバ内に配置されているとともに基板を支持するように適合された前面を含む基板ホルダと、二次チャンバを規定するハウジングとを含む基板ホルダアセンブリが提供される。少なくとも１つの接続通路が、基板ホルダの前面と二次チャンバとの間を流体連通させる。基板は、基板が接続通路を覆うように、基板ホルダ上に載置される。二次チャンバには、受動型低圧源を用いて第１の圧力より低い第２の圧力が提供される。

【００２１】

本発明のさらなる方法の実施形態によれば、基板を圧力チャンバ内の基板ホルダに保持するための方法は、第１の圧力を圧力チャンバに提供することを含む。圧力チャンバに配置されているとともに基板を支持するように適合された前面を含む基板ホルダと、二次チャ

ンバを規定するハウジングとを含む基板ホルダアセンブリが提供される。制限通路が、圧力チャンバと二次チャンバとの間を流体連通させる。少なくとも１つの接続通路が、基板ホルダの前面と二次チャンバとの間を流体連通させる。基板は、基板が接続通路を覆うように、基板ホルダ上に載置される。二次チャンバには、第１の圧力より低い第２の圧力が提供される。

【００２２】

本発明の実施形態によれば、流体を維持するための圧力チャンバアセンブリは、密閉チャンバを規定する第１および第２の比較的分離可能なケースと、チャンバから外部領域へ延在する流体漏出経路とを含む。チャンバからの外部領域への流体の流れを制限するために、漏出経路に沿って、内側シール部材が配置される。チャンバから外部領域への流体の流れを制限するために、内側シール部材と外部領域との間の漏出経路に沿って、外側シール部材が配置される。内側シール部材は、カップシールである。

【００２３】

本発明のさらなる実施形態によれば、流体を維持するための圧力チャンバアセンブリは、密閉チャンバを規定する第１および第２の比較的分離可能なケースと、チャンバから外部領域へ延在する流体漏出経路とを含む。チャンバからの外部領域への流体の流れを制限するために、漏出経路に沿って、内側シール部材が配置される。チャンバから外部領域への流体の流れを制限するために、内側シール部材と外部領域との間の漏出経路に沿って、外側シール部材が配置される。内側シール部材は、カップシールである。内側シール部材は、チャンバの圧力が外部領域の圧力を超えたとき、チャンバから外部領域への流体の流れを制限するように適合される。外側シール部材は、チャンバの圧力が外部領域の圧力より低いとき、外部領域からチャンバへの流体の流れを制限するように適合される。

【００２４】

本発明の実施形態によれば、基板を処理するための圧力チャンバアセンブリは、密閉圧力チャンバを規定する圧力容器を含む。基板ホルダは、圧力チャンバ内に配置され、基板を保持するように適合される。駆動アセンブリは、基板ホルダを動かすように動作する。駆動アセンブリは、圧力容器に対して基板ホルダとともに動く基板ホルダに接続された第１の駆動部材と、第１の駆動部材および圧力チャンバから流体的に絶縁された第２の駆動部材とを含む。駆動ユニットは、第２の駆動部材を動かすように動作する。駆動ユニットは、第１の駆動部材および圧力チャンバから流体的に絶縁される。第２の駆動部材は、駆動ユニットが第１および第２の駆動部材を介して基板ホルダを動かすことができるように、第１の駆動部材と非機械的に連結する。

【００２５】

本発明のさらなる実施形態によれば、基板を処理するための圧力チャンバアセンブリは、密閉圧力チャンバを規定する圧力容器を含む。基板ホルダは、圧力チャンバ内に配置され、基板を保持するように適合される。磁気駆動アセンブリは、圧力容器に対して基板ホルダを動かすように動作する。

【００２６】

本発明のさらなる実施形態によれば、基板を処理するための圧力チャンバアセンブリは、密閉圧力チャンバを規定する圧力容器と、圧力容器と流体連通する外部開口とを含む。基板ホルダは、圧力チャンバ内に配置され、基板を保持するように適合される。駆動アセンブリは、圧力容器に対して基板ホルダを動かすように動作するとともに、駆動アセンブリは、外部開口を密閉するように圧力チャンバの外部開口を覆うハウジングを含む。

【００２７】

本発明の実施形態によれば、圧力チャンバアセンブリは、圧力容器とガードヒータアセンブリとを含む。圧力容器は、密閉チャンバを規定する。ガードヒータアセンブリは、チャンバ内に配置され、圧力容器の周囲部分と保持空間との間に挿間されたガードヒータを含む。ガードヒータは、保持空間の温度を制御するように適合される。ガードヒータは、圧力容器の周囲部分から絶縁される。

【００２８】

本発明のいくつかの実施形態によれば、ガードヒータと圧力容器の周囲部分とは、それらの間で絶縁ギャップを規定する。絶縁ギャップの幅は、少なくとも０．１ｍｍであることが好ましい。

【００２９】

本発明のいくつかの実施形態によれば、ガードヒータアセンブリは、ガードヒータと、圧力容器の周囲部分との間に配置された絶縁材料層を含む。絶縁材料層の厚みは、少なくとも０．１ｍｍである。

【００３０】

ガードヒータアセンブリは、チャンバ内に配置され、かつ圧力容器の第２の周囲部分と保持空間との間に挿間された第２のガードヒータをさらに含んでよい。第２のガードヒータは、保持空間の温度を制御するように適合される。第２のガードヒータは、圧力容器の第２の周囲部分から絶縁される。

【００３１】

ガードヒータには、流体吹き付けバーを取り付けてもよい。保持空間内には、基板ホルダを配置してもよい。

【００３２】

本発明の実施形態によれば、基板およびプロセス流体の流れとともに使用するためのプロセスチャンバアセンブリは、容器と吹き付け部材とを含む。容器は、チャンバを規定する。吹き付け部材には、プロセス流体の流れをチャンバ内の基板に分配するように適合された少なくとも１つの吹き付け口が形成される。吹き付け部材は、少なくとも１つの吹き付け口を通る吹き付け部材からのプロセス流体の流れに応答して、容器に対して回転軸の周りを回転するように動作する。

【００３３】

吹き付け部材は、分配チャネルを含む分配部分を含んでよく、少なくとも１つの吹き付け口は、吹き付け部材の分配チャネルから外部へと延在する。

【００３４】

少なくとも１つの吹き付け口は、回転軸に対してある角度をなして延在してよい。少なくとも１つの吹き付け口は、回転軸に対して約５～８５度の間の角度をなして延在することが好ましい。

【００３５】

プロセスチャンバアセンブリは、吹き付け部材に形成される複数の吹き付け口を含んでよい。

【００３６】

吹き付け部材と容器との間で相対的に回転できるように、吹き付け部材と容器との間に、軸受が挿間されてよい。

【００３７】

本発明のさらなる実施形態によれば、プロセス流体の流れを基板に分配するための吹き付け部材は、プロセス流体の流れをチャンバにある基板に分配するように適合された少なくとも１つの吹き付け口が形成された吹き付け部材を含む。吹き付け部材は、少なくとも１つの吹き付け口を通る吹き付け部材からのプロセス流体の流れに応答して、回転軸の周りを回転するように動作する。

【００３８】

吹き付け部材は分配チャネルを含んでよく、少なくとも１つの吹き付け口は、分配チャネルから吹き付け部材の外部へ延在する。

【００３９】

少なくとも１つの吹き付け口は、回転軸に対してある角度をなして延在してよい。少なくとも１つの吹き付け口は、回転軸に対して約５～８５度の間の角度をなして延在することが好ましい。

【００４０】

吹き付け部材は、吹き付け部材に形成された複数の吹き付け口を含んでよい。

【００４１】
吹き付け部材は、棒状の分配部分を含んでよく、少なくとも１つの吹き付け口は、この分配部分に形成される。この代わりとして、吹き付け部材は、ディスク状の分配部分を含んでよく、少なくとも１つの吹き付け口は、この分配部分に形成される。
【００４２】
本発明の方法の実施形態によれば、プロセス流体を基板に適用する方法は、基板を容器のチャンバ内に配置することを含む。吹き付け部材内に少なくとも１つの吹き付け口が形成された吹き付け部材を提供される。プロセス流体は、少なくとも１つの吹き付け口から基板へ分配される。吹き付け部材は、少なくとも１つの吹き付け口を介して吹き付け部材からプロセス流体を流すことによって、容器に対して回転軸の周りで回転する。
【００４３】
図面を参照して、本発明を例示したものにすぎない以下の好適な実施形態の詳細な記載を読めば、当業者によって本発明の目的は理解されるであろう。
【発明を実施するための最良の形態】
【００４４】
以下、本発明の好適な実施形態を示した添付の図面を参照しながら、本発明についてさらに詳細に記載する。しかしながら、本発明は、多くの異なる形態で実施されてよく、本明細書に示す実施形態に限定されるものとして解釈されるべきではなく、これらの実施形態は、本発明の開示が完全なものになるように提供され、当業者に本発明の範囲を十分に伝達するであろう。
【００４５】
本発明は、一般的に、とりわけ、集積回路、マイクロ電子デバイス、ＭＥＭ、ＭＥＯＭ、および光電子デバイスの製造中、または製造後に、（半導体基板などの）マイクロ電子基板を洗浄または処理することに関する。表面の汚染物質および微粒子の除去は、集積回路製造プロセスにおいて重要なステップである。製造プロセスには、多数の洗浄ステップ（一般に、「洗浄（ｃｌｅａｎｓ）」と呼ばれる）がある。異なるタイプの洗浄は、拡散前の洗浄、前工程アッシング後の洗浄、後工程エッチング後の洗浄、金属堆積前の洗浄、前工程プラズマストリップ、後工程洗浄／ストリップ、イオン注入後の洗浄、および化学機械平坦化（ＣＭＰ）後の洗浄を含む。製造プロセスにおいて、微粒子および汚染物質のタイプおよび発生源には多くのものがある。微粒子および汚染物質は、本質的に、分子、イオン、原子、または気体であってよい。発生源は、プロセスに固有のもの（例えば、レジストの再堆積）でも、プロセスに固有しないもの（例えば、ウェハ輸送）でもよい。
【００４６】
Ａｌ／SiO_2からＣｕ／ｌｏｗ－ｋへの配線システムの移行により、本発明の方法および装置を用いて効果的に対処されてよい新しい課題が与えられる。例えば、Ｃｕへの変化の主要な問題は、Ａｌの自己不活性化特性がＣｕにはないため、酸化環境にさらされると、Ｃｕが腐食する傾向があることである。デュアルダマシン構造の洗浄中にＣｕが腐食すると、接触抵抗が高くなり、誘電体層のアンダーカットやリフトオフが生じることによって、回路の歩留まりが低下する。さらなる問題は、従来の洗浄とｌｏｗ－ｋ材料との化学的な適合性に関する。一例として、ＯＳＧおよび他の無機スピンオン誘電体膜からのアミン化学物質ガスが中毒によって汚染されることが示されている。本発明の態様は、現在困難であるこれらの新しい配線システムの洗浄に対処するものであってよい。
【００４７】
図１を参照すると、図１には本発明の好適な実施形態による装置１０が示されている。図示するように、装置１０は、ウェハ基板５の表面を洗浄するように適合される。しかしながら、以下に記載する装置および方法のさまざまな特徴および態様が、ウェハまたは他のタイプの基板またはワークピースを洗浄または別の方法で処理するために使用されてよいことは、本明細書における記載から当業者によって理解されるであろう。さらに、本明細書に以下に記載されるさまざまな構成部品およびステップが省略されてよく、または、適宜に他の（例えば、従来の）構成部品またはステップと取り替えられてよいことは、本明

細書における記載から当業者によって理解されるであろう。

【００４８】

ウェハ５は、例えば、シリコン、酸化シリコン、ガリウムヒ素などの半導体材料のウェハであってよい。ウェハ５は、実質的に平坦な作業面５Ａと、反対側の実質的に平坦な裏面５Ｂとを有する。廃棄物材料からなる連続または非連続層が、作業面５Ａ上に配置される。廃棄物の層は、フォトレジスト、反応性イオンエッチングの残留物、化学機械研磨の残留物、またはイオン注入後の残留物からなる層であってよい。前述した層にある廃棄物材料は、スチレン、アクリル、ノボラック、環状オレフィン無水マレイン酸樹脂に基づいたポリマー、フッ素、塩素、臭素、またはヨウ素のイオンに基づいたエッチング残留物、酸化剤、緩衝材、安定剤、界面活性剤、不働化剤、錯化剤、腐食防止剤、または他の試剤などの他の一般的なスラリー添加物とともにシリカまたはアルミナ研磨材を含むスラリー残留物などのなどの無機または有機汚染物質を含むことがある。他のタイプのワークピースは、例えば、ＭＥＭＳ、ＭＥＯＭＳ、光電子デバイス、および３Ｄマイクロ／ナノ構造を含む装置を用いて、洗浄または別の方法で処理されてよい。

【００４９】

装置１０は、一般的に、流量／圧力制御システム１００と、再循環システム２００と、供給／回収システム３００と、圧力チャンバアセンブリ４００と、基板取り扱いシステム５００（図８）とを含む。圧力チャンバアセンブリ４００は、圧力チャンバ４１０を含む。以下にさらに詳細に記載するように、ウェハ５は、処理するための圧力チャンバ４１０に保持される。流量／圧力制御システム１００は、１つまたは複数の化学物質（補助物質または改質剤とも呼ばれる）、CO_2（液体、気体および／または超臨界流体（ＳｃCO_2）の形態）、および／または化学物質およびCO_2の混合物をウェハ５の作業面５Ａに調節し、適用する。基板取り扱いシステム５００は、ウェハ５を保持し、任意に、均一な洗浄を行うようにウェハ５を動かす。再循環システム２００は、プロセス流体をフィルタリングして、圧力チャンバ４１０内に戻すために使用されてよい。供給／回収システム３００は、プロセス流体を供給し、さらに、処理後の流出物を洗浄し、任意に、その一部（典型的に、回収CO_2）を装置１０でさらに使用するために戻すように用いられてよい。

【００５０】

流量／圧力制御システム１００をさらに詳細に記載すると、システム１００は、高圧でCO_2を収容するタンクＴ１を含む。タンクＴ１内のCO_2の圧力は、装置１０を用いて実行されるプロセスに応じて、約４００ｐｓｉ～４０００ｐｓｉの間であることが好ましい。タンクＴ１の容積は、圧力チャンバ４１０の容積の少なくとも５倍であることが好ましい。タンクＴ１に、温度制御デバイスが動作可能に接続されてよい。温度制御デバイスは、例えば、温度センサおよび加熱コイルもしくはプローブまたは熱交換器であってよい。タンクＴ１内のCO_2の温度は、装置１０を用いて実行されるプロセスに応じて、約０℃～９０℃の間であることが好ましい。CO_2は、液体、気体、または超臨界流体の相のものであってよい。

【００５１】

タンクＴ１には、複数の出口ラインＬ３、Ｌ４およびＬ５が流体連通するように接続される。タンクＴ１から液体CO_2を供給することが望ましい場合、ラインＬ３、Ｌ４およびＬ５は、タンクＴ１の下側部分から（例えば、下側出口またはディップチューブを介して）引き出されることが好ましい。出口ラインＬ３、Ｌ４およびＬ５は、化学物質供給／調節システム１２０（図１に略図的に示し、以下にさらに詳細に記載する）、供給ラインＬ１および供給ラインＬ２と、タンクＴ１とを流体連通するように接続する。ラインＬ３、Ｌ４およびＬ５の流量を制御するために、それぞれ、弁Ｖ１、Ｖ２およびＶ３が設けられる。

【００５２】

複数の化学物質供給源Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３が、システム１２０と流体連通するように接続される。各供給源Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３は、それぞれの供給源Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３でまたはその上流で、混合されてよい単一の化学物質または複数の適合性のある化学物質を含んでよい。

供給源は適切な容器内に配置された各化学物質を含み得る。実現可能な場合、容器は、再充填しやすいように大気圧にあることが好ましい。

【００５３】

供給源Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３により与えられる化学物質は、例えば、水と、過酸化物または過マンガン酸塩などの酸化剤と、フッ化水素酸、硫酸および硝酸などの酸と、第２級および第３級アミンなどの塩基と、水酸化アンモニウムと、有機炭酸塩、ラクトン、ケトン、エーテル、アルコール、スルホキシド、チオールおよびアルカンなどの溶剤と、フッ素化部分および親水性または親油性部分を備えたブロック共重合体またはランダム共重合体などの界面活性剤と、シロキサン系成分および親水性または親油性成分を有する界面活性剤と、従来のイオンおよび非イオン炭化水素系界面活性剤と、フッ化アンモニウムおよびコリンなどの塩とを含んでよい。適合性がない化学物質とは、混合されたり互いにさらされたりしたときに、プロセスを妨げ、および／または、装置１０またはウェハ５にダメージを与え、または過度に汚すように互いに反応する傾向がある化学物質である。適合性のない化学物質は、酸および塩基を含む。

【００５４】

再充填が必要であることを示すために、および／または、プロセスにおける化学物質の使用の計量を提供するために、供給源Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３の各々に、レベルセンサを設けてよい。供給源の温度を制御するために、加熱コイルやジャケットなどの手段を設けてよい。各供給源Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３に、混合デバイスを設けてよい。

【００５５】

以下にさらに詳細に記載するように、システム１２０は、１つ以上の制御された量の化学物質（CO_2を含有または含有しない）を提供するように動作し、この量は、システム１２０によって調節されてよい。供給ラインＬ１およびＬ２は、１つまたは複数の量の化学物質を受け取るように、システム１２０と流体連通するように接続される。供給ラインＬ１は、圧力チャンバ４１０と流体連通するノズル１９１と流体連通するように接続される。供給ラインＬ２は、圧力チャンバ４１０にある吹き付け部材１９０と流体連通するように接続される。供給ラインＬ１およびＬ２のそれぞれに、フィルタＦ１およびＦ２が設けられる。好ましくは、図示したように、フィルタＦ１およびＦ２は、供給ラインＬ１およびＬ２に供給するすべてのラインの下流に位置する。

【００５６】

真空ラインＬ１６が圧力チャンバ４１０と流体連通するように接続される。真空ユニットＰ１は、ラインＬ１６を介して圧力チャンバ４１０内に完全または部分的な真空を引き込むように動作する。真空ユニットＰ１は、ポンプであってよく、または、連続的に動作する真空ポンプによって常時真空状態または真空に近い状態に維持された１つ以上のタンクであってよい。圧力チャンバ４１０をより急速に排気することができるとともに、ウェハ処理中にタンクを再排気することができるという点で、真空タンクが有益なことがある。複数の真空タンクを使用する場合、圧力チャンバ４１０により大きな真空をより短時間で発生させるように、これらを段階的に作動させてよい。

【００５７】

真空ユニットＰ１は、システムに導入される空気（または周囲ガス）を管理するのに有益なことがある。各バッチステップにおいて、圧力チャンバ４１０は、基板を挿入および／または除去するために開閉してよい。圧力チャンバ４１０が開いている間、チャンバは、周囲ガス（典型的に、空気）で充填されてよい。真空ユニットＰ１を用いて能動的に制御および管理することを用いて、この周囲ガスの挿入が、時間の経過とともにプロセス流体に蓄積しないようにしてよい（プロセス流体のある一定レベルの再利用が達成されたと仮定）。

【００５８】

循環ラインＬ６は、圧力チャンバ４１０とシステム１２０とを流体連通するように接続する。ラインＬ６は、圧力チャンバ４１０の下側部分から引き出されることが好ましい。

【００５９】

二次ガス供給タンクＴ２は、圧力チャンバ４１０との間に設けられた制御可能な弁Ｖ１５によって、圧力チャンバ４１０と流体連通するように接続される。二次ガスは、CO_2より高い飽和蒸気圧を有することが好ましい。二次ガスは、不活性ガスであることが好ましい。二次ガスは、ヘリウム、窒素、またはアルゴンであることがさらに好ましい。

【００６０】

（パルス発生の特徴）

可変容量デバイスまたはパルス発生器１０２は、圧力チャンバ４１０と流体連通するように接続されてよい。パルス発生器１２０は、チャンバ１０２Ｂと、チャンバ１０２Ｂ内で移動可能な加圧部材１０２Ａとを含む。パルス発生器１０２は、圧力チャンバ４１０内で圧力の急速な低減および／または増大（すなわち、パルス）を発生させるように動作する。加圧部材１０２Ａの行程容積は、圧力チャンバ４１０の容積の約０．１～５倍の間であることが好ましい。パルス発生器１０２は、約１サイクル／１０秒～５０サイクル／秒の間の速度で圧力パルス発生サイクルを与えるように適合されることが好ましい。パルス発生器１０２は、少なくとも１００ｐｓｉ、およびより好ましくは約３００ｐｓｉ～１５００ｐｓｉの間で、圧力チャンバ４１０の圧力を低減および／または増大するように適合される。

【００６１】

パルス機構は、例えば線形アクチュエータに連結されたピストン、回転軸および連接棒、外部電気コイルによって移動可能な磁気ピストン、および／または、電気式、空圧式、または油圧式に駆動されるピストンまたはダイヤフラムを含む任意の適切な機構であってよい。油圧式または空圧式のシステムにおいて、パルス機構は、ダイヤフラムの非プロセス側に圧力を許容し解除することによって、ピストンまたはダイヤフラムを変位させる弁と組み合わされてよい。１つの実施形態において、高圧タンクＴ１と、Ｔ２のような低圧力容器とは、パルス機構（ピストンまたはダイヤフラム）に動力を与えるように、流体連通するように接続されてよい。

【００６２】

パルスチャンバ１０２Ｂには、１つの経路から充填されるように適切な弁（図示せず）が追加されてよく、この経路にある弁は閉じられてよく、その後、流体はフィルタを含む第２の経路を通って圧力チャンバ４１０に戻されてよい。第２の経路は、吹き付け部材１９０を通って圧力チャンバ４１０に戻り流体を供給してよい。複数の経路は、ピストンが使用されれば、パルスチャンバに発生したウェハまたは微粒子から除去されたばかりの汚染物質が再導入されないような働きをしてよい。

【００６３】

パルス発生器１２０が、圧力チャンバ４１０の下側部分に接続されているように示されているが、パルス発生器１０２は、圧力チャンバ４１０の任意の高さから引き出されてよい。特に、圧力チャンバ４１０において二相（液相／気相）のプロセス流体を利用してプロセスを行いやすいように使用する場合、または、ウェハの近傍で流体および微粒子の流れを与えるために使用する場合、上側部分から引き出すようにパルス発生器１０２を構成することが望ましい場合がある。底部ノズルの場合のように、ウェハの表面にわたって（平行に）流体を移動させるよりも、迅速に基板表面から（垂直に）流体を移動させることが有益な場合がある。ウェハ表面から粒子を取り除くことができるとともに、再堆積しないように、ウェハから十分に離れた位置に粒子を輸送できるようにするために、比較的に大きなパルスチャンバが使用されてよい。また、例えば、超臨界状態から液体、気体への二相を介して相変化を可能にするために、比較的大きなパルスチャンバが使用されてもよい。

【００６４】

圧力チャンバ４１０を、より低い圧力の領域、例えば、以下に記載する低圧力タンクＴ２、流体移送デバイス（例えば、ポンプ）、または大気に選択的に排気するために、出口ラインＬ１０および弁Ｖ６が設けられる。圧力チャンバ４１０からの廃棄物が、低圧力領域に引き出されてよい。

【００６５】
圧力チャンバ４１０から廃棄物を除去できることに加えて、ラインＬ１０および弁Ｖ６は、圧力チャンバ４１０において圧力パルスを発生させるために、高圧タンクＴ１とともに使用されてよい。これは、タンクＴ１を用いて圧力チャンバ４１０の圧力を上昇させ（すなわち、タンクＴ１と圧力チャンバ４１０との間に開いた経路を与えるために、１つ以上の弁Ｖ１、Ｖ２、Ｖ３および／または他の弁を制御し）、弁Ｖ６を閉じ、その後、弁Ｖ６を開くことによって圧力チャンバ４１０の圧力を急速に下げることによって達成されてよい。廃棄物は、例えば、タンクＴ２などの低圧タンクに進んでよい。このシーケンスが、必要に応じて繰り返されてよい。

【００６６】
［化学物質供給／調節システム］
化学物質供給／調節システム１２０は、供給源Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３（これよりも多数または少数の供給源が使用されてよい）から圧力チャンバ４１０への選択された流量または量の化学的な補助物質を与えるように動作する。さらに、システム１２０は、圧力、温度、および化学物質または化学物質／CO_2の流量を選択的に制御するように動作してよい。本発明によれば、以下に記載するように、システム１２０に、ある別の構成が用いられてよい。開示される実施形態のさまざまな態様および特徴が省略されてよく、または、実施形態の他の態様および特徴と組み合わせたり置き換えられたりされてよいことは、本明細書の記載から認識されるであろう。

【００６７】
図２を参照すると、これには装置１０の関連部分とともに、化学物質供給／調節システム１２０Ａが概略的に示されている。流体移送デバイスＰ３が、実質的に周囲圧力で、化学物質流体の重力流（「第１の流れ」）を、供給源Ｓ１から貯蔵部Ｒ１へ選択的に引き込み、許容する。レベル測定デバイス１２２が、貯蔵部における流体の量を測定し、それによって、圧力チャンバ４１０へ送られる化学物質の量を測定する。また、流体移送デバイスＰ３は、デバイスＰ３を通る流量を計量することによって、貯蔵部Ｒ１にある流体の量を決定するように作用してもよい。その後、貯蔵部の化学的な補助物質は、重力を受けて、調節ユニットＣ１（以下に記載）、フィルタＦ１、およびラインＬ１を通って、圧力チャンバ４１０内に排出されてよい。

【００６８】
この代わりとして、タンクＴ１からのCO_2（例えば、超臨界CO_2（ＳｃCO_2）、液体CO_2、または圧縮液体CO_2、または気体CO_2）が、弁Ｖ１Ａの動作によって、ラインＬ３Ａを介して貯蔵部Ｒ１に送られてよい。それによって、補助物質およびCO_2の加圧混合物が、ユニットＣ１、フィルタＦ１、およびラインＬ１を通って、圧力チャンバ４１０に送られる。

【００６９】
図２をさらに参照すると、システム１２０Ａは、化学物質含有プロセス流体の第２の流れを圧力チャンバ４１０に送るように適合され、第２の流れは、供給源Ｓ１と適合性がない供給源Ｓ２からの化学物質を含む。システム１２０Ａは、第１の流れに対して使用されたものとは別々のものである第２の流れの流路を与える。第２の流路は、要素Ｐ３、Ｒ１、１２２、およびＣ１に一般的に対応する要素Ｐ４、Ｒ２、１２２、およびＣ２を含む。

【００７０】
上述したものと同様に、第２の流れは、Ｐ４を経由した後、調節ユニットＣ２、フィルタＦ２、およびラインＬ２を通って、圧力チャンバ４１０に移送される化学物質のみの流れ（すなわち、CO_2ではない）であってよい。この代わりとして、タンクＴ１からのCO_2は、補助物質／CO_2が圧力下で圧力チャンバ４１０に送られるように、弁Ｖ１Ｂの動作によって、ラインＬ３Ｂを通って貯蔵部Ｒ２内に導入されてよい。

【００７１】
図２は、Ｐ４または圧力差を用いることによって、圧力チャンバ４１０から貯蔵部Ｒ２までプロセス流体を戻すための循環ラインＬ６の使用をさらに示す。戻された流体は、プロ

セスにおいて再使用するために、第２の流れと再混合されてよい。ラインＬ６には、さらなるフィルタ（図示せず）が設けられてよい。

【００７２】

図３を参照すると、これには本発明のさらなる実施形態による化学物質供給／調節システム１２０Ｂが示されている。システム１２０Ｂは、気相化学物質を送るのに特に適したものである。システム１２０Ｂは、システム１２０Ａに相当するものであるが、貯蔵部Ｒ１、Ｒ２が省略されていることと、ラインＬ３Ａ、Ｌ３Ｂおよび弁Ｖ１ＡおよびＶ１Ｂを介して、調節ユニットＣ１、Ｃ２が、直接、高圧力CO_2を利用可能であることが異なる。流体移送デバイスＰ３（またはＰ４）を動作させることによって、システム１２０Ｂは、調節ユニットＣ１（またはＣ２）およびフィルタＦ１（またはＦ２）を介して、圧力チャンバ４１０内に補助物質Ｓ１（またはＳ２）を注入してよい。この代わりとして、それぞれの調節ユニットＣ１、Ｃ２において、高圧CO_2が、化学物質Ｓ１またはＳ２に追加され、または混合されてよい。この場合、圧力チャンバ４１０に送られた化学物質の量は、流体移送デバイスＰ３（またはＰ４）を通る化学物質の流量を計量することによって、または供給容器Ｓ１またはＳ２での量の変化を測定することによって、測定してよい。調節ユニットＣ１およびＣ２への化学物質および／またはCO_2の流量は、チャンバ４１０に送られている流れにおいて、CO_2と化学物質の所望の比率を達成するように制御されてもよい。

【００７３】

図４を参照すると、これには本発明のさらなる実施形態による化学物質供給／調節システム１２０Ｃが示されている。システム１２０Ｃは、供給源Ｓ１およびＳ２の各々と、（ラインＬ３Ａおよび弁Ｖ１Ａを介して）タンクＴ１からの高圧力CO_2の供給源から交互に選択的に引き出されるように動作する流体移送デバイスＰ５を含む。デバイスＰ５は、調節ユニットＣ３およびフィルタＦ１およびＦ２の一方または両方（弁Ｖ９およびＶ１０の動作に応じて）を通るように選択された化学物質を流すことで、流体は、最終的に、圧力下で圧力チャンバ４１０内に注入される。任意に、タンクＴ１からのCO_2は、ラインＬ３Ｂおよび弁Ｖ１Ｂを用いて、調節ユニットＣ３内にCO_2を導入することによって、選択された化学物質に追加されてよい。適合性のない化学物質Ｓ１、Ｓ２が混合しないようにするために、タンクＴ１からのCO_2（好ましくは、純ＳｃＣＯ$_2$）が、ラインＬ３Ａを介して導入されて、流体移送デバイスＰ５と、２つの化学物質の流れにより共有された圧力チャンバ４１０までの流路の残りに流す。

【００７４】

［再循環システム］

再循環システム２００は、圧力チャンバ４１０の下側部分と流体連通するように接続された出口ラインＬ７を含む。ラインＬ８およびＬ９は、ラインＬ７と流体連通するように接続され、さらに、フィルタＦ１およびＦ２のそれぞれの上流にある供給ラインＬ１およびＬ２とも流体連通するように接続される。流体移送デバイスＰ２が、圧力チャンバ４１０から流体を引き出し、流体が、ラインＬ８およびＬ９を通って、最終的に、圧力チャンバ４１０内に戻るように動作する。再循環流体の流れは、ラインＬ１およびＬ２において（例えば、システム１２０から、および／またはラインＬ３またはＬ４から）他の流体の流れと組み合わされてよい。ラインＬ８およびＬ９に、弁Ｖ４およびＶ５が設けられる。

【００７５】

再循環システム２００は、CO_2および／または化学物質をさらに除去することなく、さらに、新しいCO_2および／または化学物質を導入することなく、ウェハ表面にさらなる流体の機械的作用を与えるように作用してよい。さらに、再循環システム２００は、洗浄プロセス中、プロセス流体を連続して洗浄（例えば、密度調整によって成分をフィルタリング、蒸留、または分離）するように作用してよい。

【００７６】

図５に、本発明による別の再循環システム２００Ａが示されている。システム２００Ａは、出口ラインＬ１４を含む。戻りラインＬ１５およびＬ１６は、ラインＬ１４を圧力チャ

ンバ４１０内にある再循環ノズル１９３および吹き付け部材１９０とそれぞれ流体連通するように接続する。流体移送デバイスＰ６が、圧力チャンバ４１０からフィルタＦ３を通って、ノズル１９３および／または吹き付け部材１９０を通って圧力チャンバ４１０内に流体を戻すように動作する。流体を吹き付け部材または再循環ノズルに交互に分配できるようにして、意図していない逆流がノズル１９３を通らないようにするために、弁Ｖ７およびＶ８が設けられる。

【００７７】

図６に、本発明によるさらなる別の再循環システム２００Ｂが示されている。システム２００Ｂは、蒸留器２４３（加熱要素２４５を有する）と圧力チャンバ４１０とを移送システム２４２を介して流体連通するように接続する出口ラインＬ３０を含む。移送システム２４２は、圧力チャンバ４１０からの廃棄物の流れを、その開始状態（例えば、液体、圧縮液体、または超臨界流体）から液体へと変える。また、移送システム２４２は、蒸留器２４３から圧力チャンバ４１０へ流体が逆流しないように適応されることが好ましい。この目的のため、移送システム２４２は、１つ以上の遮断弁および／または一方向／逆止め弁を含んでよい。

【００７８】

圧力チャンバ４１０からの廃棄物の流れが液体であれば、移送システム２４２は、流体を変化させなくてもよいし、流体の温度だけを変化させてもよい（例えば、加熱器や冷却器を用いて）。圧力チャンバ４１０からの廃棄物の流れが圧縮液体であれば、移送システムは、圧力を下げてよい（例えば、曲がりくねった経路、オリフィス、または制御弁によって）。また、移送システム２４２は、温度を変化させる要素を含んでもよい。圧力チャンバ４１０からの廃棄物の流れが超臨界流体であれば、上述したように圧力を下げることとともに、温度を変化させるステップがあることが好ましい。この場合、相図の２相液体／気体領域に入るように流体を冷却することが必要であり、または望ましい場合がある。

【００７９】

液体状態になれば、流体は、２つの成分、すなわち、主にCO_2ガスとなるより軽い成分と、主に補助的な化学物質および混入汚染物質となるより重い成分に流体を分離するように、蒸留器２４３において沸騰／蒸留される。より重い成分は、再循環／排気システム２４４に運ばれてよい（例えば、重力によって）。

【００８０】

CO_2ガス（より軽い）流れは、ラインＬ３１を経由して熱交換器２４６に向けられ、CO_2ガスの流れが、処理流体（すなわち、液体、圧縮液体、または超臨界流体）の状態に変えられる（温度および圧力を操作して）。流体開始状態が液体であれば、熱交換器は、濃縮流体から蒸留器２４３へ熱を伝達するように加熱デバイスに接続された熱伝達コイル２４７を含んでよい。CO_2は、ろ過、吸着、吸収、膜分離、物理的分離（例えば、遠心力）、または静電分離によって、さらに洗浄されてよい。その後、濃縮CO_2は、基板をさらに処理したり、後続する基板を処理したりするために戻されてよい。このように流入する流体に（例えば、混合貯蔵部２４８で）、さらなる化学物質が追加されてよい。

【００８１】

蒸留再循環システム２００Ｂは、圧力チャンバ４１０を通るプロセス流体の連続的または断続的な流れを与えるように使用されてよい。この流量は、ウェハ５から離れるように微粒子を輸送し（例えば、ウェハ上で再堆積しないように）、および／またはウェハ表面上に機械的作用（振動）を与えることによって、洗浄プロセスにおいて助力するように作用してよい。流量は、フィルタリングされてよく、または別の方法で調節されてよい。流量は、蒸留器２４３に熱を加えることによって完全に駆動されてよく、それによって、ポンプや他の微粒子を発生する可能性のある機械デバイスが不要になる。連続した流れを増大させるために、複数の移送システム２４２、蒸留器２４３、熱交換２４６が使用されてよい。

【００８２】

（プロセス流体の流れからフィルタリングまたは蒸留された比較的少量の補助物質および

微粒子を除く）プロセスループからプロセス流体を失うことなく、チャンバ４１０を通るように流量を与えるために、再循環システム２００、２００Ａ、２００Ｂの各々が用いられてよい。さらに、プロセス流体の化学的な組成を変えることなく、チャンバ４１０を通るように流体を与えるために、再循環システム２００、２００Ａの各々が用いられてよい。

【００８３】

図１から図５に示すように、フィルタＦ１、Ｆ２およびフィルタＦ３は、少なくとも１０ｎｍ（ナノメートル）から５０ミクロンの範囲の粒子をフィルタリングするように適応されることが好ましい。適切なフィルタは、焼結フィルタ、バッグ式フィルタ、磁気フィルタ、静電フィルタ、および／またはそれらの組み合わせを含んで良い。図示した実施形態のように、圧力チャンバ４１０内へのすべての流体の流れ経路が、圧力チャンバ４１０の前の最終要素としてフィルタを有することが好ましい。特に、流体を圧力チャンバ４１０に分配するためのすべての弁および流体移送デバイスが、少なくとも１つのフィルタの上流に配置される。

【００８４】

調節ユニットＣ１、Ｃ２、Ｃ３は、補助物質の等質性および溶媒和を促進させるために、補助的な化学物質を混合させるか、または補助物質およびCO_2（存在する場合）を混合するための手段を含んでよい。また、調節ユニットは、補助物質または補助物質／CO_2の温度を制御するための手段を含んでもよい。適切な混合デバイスまたはプロセスが、機械的なミキサおよびフローミキシングを含む。温度制御は、例えば、プローブ、内部コイル、要素、および／または、外部ジャケットを用いて達成されてよい。例えば、電気ヒータまたは流体熱交換器が使用されてよい。

【００８５】

流体移送デバイスＰ３、Ｐ４、Ｐ５は、流体の流れを正確かつ常に計量可能であることが好ましい。適切なデバイスは、例えば、ダイヤフラムポンプ、シリンジポンプ、またはピストンポンプを含んでよい。

【００８６】

本明細書において、特定の配置を示し記載してきたが、本発明の範囲内においてさまざまな修正がなされてよいことは当業者に明らかであろう。例えば、システム１２０Ａ（図２）において、循環ラインＬ６は、ラインＬ６からの流れがラインＬ１に向けられるように、流体移送デバイスＰ３に供給してよい。各流路に対して供給ライン（すなわち、Ｌ１またはＬ２）を選択できるように、弁（図示せず）が与えられてよく、それによって、供給源Ｓ１からの化学物質（CO_2を含むか含まない）は、例えば、必要に応じて、吹き付け部材１９０およびノズル１９１のいずれかまたは両方に向けられることができる。装置１０は、インライン貯蔵部（すなわち、システム１２０Ａにあるように）を含む１つ以上の化学物質供給路、および／または直接噴射（すなわち、システム１２０Ｂにあるように）である１つ以上の並列化学物質供給路、および／または別の供給源（すなわち、システム１２０Ｃにあるように）のために働く１つ以上の並列化学物質供給路を含んでよい。さらなる柔軟性を与えるために、必要に応じて、追加のフィルタ、流体移送デバイス、貯蔵部、調節ユニット、および弁が設けられてよい。

【００８７】

［洗浄／パルス発生プロセス］

装置１０は、広範囲のプロセスを実行するために使用されてよく、圧力チャンバ４１０におけるウェハ５は、さまざまな状態（例えば、液体、気体、超臨界流体）において、化学的な補助物質、CO_2、およびそれらの混合物を含む、流体の流れ、プール、および雰囲気にさらされる。このようなプロセスは、ウェハ表面５Ａを洗浄し、または別の方法で処理（例えば、コーティング）するように作用してよい。例えば、装置１０は、本願と同一の譲受人の以下の米国特許出願に開示されている方法を実行するために使用されてよく、これらの開示は、本明細書において参照により組み込まれたものとする。

１．米国特許出願第＿＿＿＿＿＿号、発明者、Ｊａｍｅｓ　Ｐ．Ｄｅ　Ｙｏｕｎｇ、Ｊａ

ｍｅｓ Ｂ．ＭｃＣｌａｉｎ、Ｍｉｃｈａｅｌ Ｅ．Ｃｏｌｅ、およびＤａｖｉｄ Ｅ．Ｂｒａｉｎａｒｄ、出願日、２００１年９月１３日、発明の名称「周期的相調整を用いてマイクロ電子構造を洗浄する方法（Ｍｅｔｈｏｄｓ ｆｏｒ Ｃｌｅａｎｉｎｇ Ｍｉｃｒｏｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃ Ｓｔｒｕｃｔｕｒｅｓ ｗｉｔｈ Ｃｙｃｌｉｃａｌ Ｐｈａｓｅ Ｍｏｄｕｌａｔｉｏｎ）」（代理人整理番号５６９７－４５ＩＰ）。

２．米国特許出願第＿＿＿＿＿＿号、発明者、Ｊａｍｅｓ Ｐ．Ｄｅ Ｙｏｕｎｇ、Ｊａｍｅｓ Ｂ．ＭｃＣｌａｉｎ、Ｓｔｅｐｈｅｎ Ｍ．Ｇｒｏｓｓ、およびＪｏｓｅｐｈ Ｍ．ＤｅＳｉｍｏｎｅ、出願日、２００１年９月１３日、発明の名称「水溶性二酸化炭素システムを用いてマイクロ電子構造を洗浄する方法（Ｍｅｔｈｏｄｓ ｆｏｒ Ｃｌｅａｎｉｎｇ Ｍｉｃｒｏｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃ Ｓｔｒｕｃｔｕｒｅｓ ｗｉｔｈ Ａｑｕｅｏｕｓ Ｃａｒｂｏｎ Ｄｉｏｘｉｄｅ Ｓｙｓｔｅｍｓ）」（代理人整理番号５６９７－４５ＩＰ２）。

３．米国特許出願第＿＿＿＿＿＿号、発明者、Ｊａｍｅｓ Ｐ．Ｄｅ Ｙｏｕｎｇ、Ｊａｍｅｓ Ｂ．ＭｃＣｌａｉｎ、およびＳｔｅｐｈｅｎ Ｍ．Ｇｒｏｓｓ、出願日、２００１年９月１３日、発明の名称「マイクロ電子構造から粒子を除去する方法（Ｍｅｔｈｏｄｓ ｆｏｒ Ｒｅｍｏｖｉｎｇ Ｐａｒｔｉｃｌｅｓ ｆｒｏｍ Ｍｉｃｒｏｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃ Ｓｔｒｕｃｔｕｒｅｓ）」（代理人整理番号４５ＩＰ３）。

４．米国特許出願第＿＿＿＿＿＿号、発明者、Ｊａｍｅｓ Ｐ．Ｄｅ Ｙｏｕｎｇ、Ｊａｍｅｓ Ｂ．ＭｃＣｌａｉｎ、およびＳｔｅｐｈｅｎ Ｍ．Ｇｒｏｓｓ、出願日、２００１年９月１３日、発明の名称「マイクロ電子構造の二酸化炭素洗浄後に汚染物質を洗浄する方法（Ｍｅｔｈｏｄｓ ｆｏｒ ｔｈｅ Ｃｏｎｔｒｏｌ ｏｆ Ｃｏｎｔａｍｉｎａｎｔｓ Ｆｏｌｌｏｗｉｎｇ Ｃａｒｂｏｎ Ｄｉｏｘｉｄｅ Ｃｌｅａｎｉｎｇ ｏｆ Ｍｉｃｒｏｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃ Ｓｔｒｕｃｔｕｒｅｓ）」（代理人整理番号５６９７－４５ＩＰ４）。

【００８８】

以下は、本発明に従って実施されてよい例示的なプロセスである。所望のプロセスステップを行うように、必要に応じて、フィードバックおよび制御を与えるように、弁、流体移送デバイス、およびセンサが動作可能に接続されることが好ましい。

【００８９】

ウェハ５は、圧力チャンバ４１０内に挿入され、接着剤やクランプなどの任意の適切な手段によって、チャック５１０に固定される。ウェハ５は、ウェハ保持アセンブリ５２０（図１９）および５５０（図２３）に関して以下に記載する方法の１つのチャックに固定されることがより好ましい。その後、圧力チャンバのドアは、閉じられ、密閉される。

【００９０】

圧力チャンバ４１０の空気および任意の他の気体が、真空ユニットＰ１を用いて、圧力チャンバ４１０からラインＬ１６を介して排気される。

【００９１】

任意に、供給源Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３の１つ以上からの化学物質が、圧力チャンバ４１０を加圧する前に、化学物質供給／調節システム１２０を用いて、ウェハに適用されてよい。

【００９２】

その後、圧力チャンバ４１０は、高圧力タンクＴ１からCO_2（好ましくは、液体CO_2または$ScCO_2$）で加圧される。圧力チャンバ４１０は、好ましくは、少なくとも４００ｐｓｉ、より好ましくは、約８００ｐｓｉから３０００ｐｓｉの間の圧力まで加圧される。さらに、圧力チャンバ４１０の雰囲気は、例えば、以下に記載するガードヒータを用いて、選択された温度（好ましくは、約１０℃から８０℃の間）に維持される。

【００９３】

圧力チャンバ４１０が選択された圧力に加圧されると、高密度相CO_2が、ラインＬ２を通って吹き付け部材１９０および／またはノズル１９１に循環される。吹き付け部材は、高密度相CO_2をウェハ表面５Ａへ向ける。任意に、液体または超臨界CO_2が混合されたものか、または混合されていない、供給源Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３の１つ以上からの化学物質が

、化学物質供給／調節システム１２０を用いてウェハに適用されてよい。

【００９４】

その後、パルス発生器１０２および／または高圧力タンクＴ１および弁Ｖ６は、周期的相調整（ＣＰＭ）を達成するために使用される。さらに詳しく言えば、パルス発生器１０２および／または高圧力タンクＴ１および弁Ｖ６は、液体、超臨界、および気体状態の間で相変化を達成するように動作される（プロセス流体の適切な温度制御により）。相変化は、超臨界状態と液体状態との間で周期的に実行されることが好ましい。例えば、本願と同一の譲受人の米国特許出願第＿＿＿＿＿＿号、発明者、Ｊａｍｅｓ Ｐ．Ｄｅ Ｙｏｕｎｇ、Ｊａｍｅｓ Ｂ．ＭｃＣｌａｉｎ、Ｍｉｃｈａｅｌ Ｅ．Ｃｏｌｅ、およびＤａｖｉｄ Ｅ．Ｂｒａｉｎａｒｄ、出願日、２００１年９月１３日、発明の名称「周期的相調整を用いてマイクロ電子構造を洗浄する方法（Ｍｅｔｈｏｄｓ ｆｏｒ Ｃｌｅａｎｉｎｇ Ｍｉｃｒｏｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃ Ｓｔｒｕｃｔｕｒｅｓ ｗｉｔｈ Ｃｙｃｌｉｃａｌ Ｐｈａｓｅ Ｍｏｄｕｌａｔｉｏｎ）」（代理人整理番号５６９７－４５ＩＰ）に開示されているようなＣＰＭプロセスが実行されてよく、その内容全体は、本明細書に参照により組み込まれたものとする。

【００９５】

ＣＰＭサイクル中、CO_2または化学物質を有するCO_2が、吹き付け部材１９０を介してウェハに適用されてよい。圧力チャンバ４１０からの流体および微粒子物質が、圧力チャンバ４１０から除去されて、再循環システム２００または２００Ａを介して局所的に再循環され、および／または、ラインＬ６およびシステム１２０を介して再循環されてよい。

【００９６】

プロセス流体（高密度相CO_2、補助物質、および廃棄物）は、ラインＬ１０を介して圧力チャンバ４１０から除去される。以下に記載するように、CO_2は、圧力チャンバ４１０から回収タンクへ引き出されてよい。プロセス経路（圧力チャンバ４１０を含む）は、タンクＴ１からの純液体または超臨界CO_2で１回以上洗い流されてよい。

【００９７】

化学物質Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３の１つ以上をウェハ（ＳｃCO_2を含むか含まない）を任意に適用し、ＣＰＭを実行し、およびプロセス流体を除去する前述のステップが、必要に応じて繰り返されてよい。最終的なＣＰＭサイクルの後、プロセス流体は除去され、任意に、リンス流体（例えば、助溶剤または界面活性剤）が、供給源Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３からウェハ５へ分配される（好ましくは、吹き付け部材１９０からの圧力下で）。

【００９８】

その後、圧力チャンバ４１０およびプロセス経路（再循環経路を含む）は、補助物質および残りの残留物を除去するために、タンクＴ１からＳｃCO_2で洗い流される。リンス流体が使用されなければ、純CO_2（液体または超臨界）流体が、基板から補助物質および残りの汚染物質を除去するために使用される。洗浄用の高密度相CO_2は再循環されるが、最終的に、ラインＬ１０を介して除去される。ウェハ５および圧力チャンバ４１０の最終的なリンス処理は、純液体または超臨界CO_2を用いて実行されることが好ましい。

【００９９】

その後、圧力チャンバ４１０は減圧され、ウェハ５は除去される。

【０１００】

装置１０は、好ましくは、少なくとも４００ｐｓｉで、より好ましくは、８００ｐｓｉ～３０００ｐｓｉの間の圧力で、吹き付け部材１９０からウェハ表面へプロセス流体を適用するように動作する。プロセスは、吹き付け部材１９０をウェハに対して回転させながら、吹き付け部材１９０を用いてプロセス流体をウェハに適用することを含んでよい。吹き付け部材（例えば、吹き付け部材１９０または吹き付け部材６０２）およびチャック（例えば、チャック５１０、５２２、または５５２）のいずれかまたは両方が、回転可能に駆動されてよい。

【０１０１】

さらに、供給ノズル（例えば、ノズル１９１）を介してプロセス流体をチャンバ４１０内

に供給し、出口ラインの１つ以上（例えば、ラインＬ７、ラインＬ１０、ラインＬ１１、および／またはラインＬ６）を介してプロセス流体を同時に除去することによって、ウェハ５にわたって、プロセス流体の流れが与えられてよい。装置１０は、このようにチャンバ４１０を通る流れを、少なくとも２ｇｐｍの流量で与えるように動作することが好ましい。

【０１０２】

上述したように、プロセスは、プロセス流体を含むCO_2密度をパルス発生すると同時に、プロセス流体をウェハ５に吹き付けることとを含んでよい。同様に、相調整が、パルス発生器１０２を用いて達成されれば、チャンバ４１０を通るプロセス流体の流れが、密度調整と同時に与えられてよい。ウェハ５および／または吹き付け部材１９０は、同時に回転されてよい。

【０１０３】

化学物質の適用を伴う前述したステップの各々において、化学物質は、任意の適切な化学物質であってよい。特に、化学物質が、助溶剤、界面活性剤、反応物、キレート化合物、およびそれらの組み合わせを含んでよいことを理解されたい。特に、化学物質供給システム１２０の別々の流路および／または洗浄手段は、適合性のない化学物質をチャンバ４１０に安全かつ効果的に追加するために使用されてよい。

【０１０４】

装置は、異なる状態（例えば、液体、気体、超臨界）にあるプロセス成分をチャンバ４１０に分配してよく、異なる状態にある成分がチャンバ４１０に共存できるようにしてよい。装置は、液体CO_2を用いた洗浄ステップ用の洗浄チャンバから、プロセス成分を排出または洗い流すために、加熱されたCO_2ガス（例えば、タンクＴ１から）を与えてよい。この代わりとして、洗浄ステップ中に主要なプロセス流体として、液体または超臨界CO_2のいずれかが使用されている場合、洗浄ステップ中およびリンスステップの前にプロセス流体を排除するために、装置は、二次ガスタンクＴ３から、ヘリウム、窒素、またはアルゴンなどの二次ガスを分配してよい。また、装置は、洗浄ステップの後であるが、ＳｃCO_2を用いる洗浄ステップのためのリンスステップの前に、プロセス流体を排除するために用いられる主要なプロセス流体の温度より低い温度であるが、主要なプロセス流体の密度より低い密度で、加熱されたＳｃCO_2（例えば、超臨界CO_2）を提供してもよい。

【０１０５】

［供給／回収システム］

供給／回収システム３００は、CO_2および／または化学物質を洗浄プロセスに供給および／または回収、および再供給するように適応される。プロセスが進行するにつれ、一部のCO_2が失われることがある。プロセスは、圧力チャンバ４１０が、基板と同様に連続して多数回、加圧および減圧されるバッチサイクルを含んでよい（例えば、CO_2を基本とした処理機器をウェハが通って移動される）。例えば、ウェハの除去および置き換えを行うために圧力チャンバが開かれるとき、一部のCO_2が大気中に失われることがある。一部のCO_2は、システムから排出される廃棄物の流れにシステムから失われることがある。実質的な量のCO_2は、汚染されるか、またはプロセスループを通るさらなる再循環に不適切または潜在的に不適切なものになる。これらの理由から、プロセスから失われたCO_2を補給するために、さらなるCO_2の供給源を与えることが必要である。さらに、装置１０または他の場所で再利用するためのCO_2および化学物質を再循環させることが望ましい場合がある。

【０１０６】

［CO_2貯蔵供給源］

図７を参照すると、供給／回収システム３００は、CO_2貯蔵供給源３１２を含む。供給源３１２は、例えば、１つ以上の液体シリンダに供給されたCO_2、亜大気液体からなるカルボイ、または亜大気液体からなるバルク供給システムであってよい。貯蔵方法は、液体または気体CO_2のいずれかが供給できるものであることが好ましい。

【０１０７】
供給源３１２は、ラインＬ１７を介してプロセスチャンバ４１０と流体連通するように接続され、圧力チャンバ４１０内への流れを制御するために、弁Ｖ１１が設けられている。システム３００は、供給源からのCO_2が、所望の圧力（好ましくは、約１５～５０ｐｓｉｇの間）で、圧力チャンバ４１０内に直接（すなわち、任意の流体移送デバイス、加圧タンクなどの助力なしに）分配できるように適応されることが好ましい。供給源３１２は、気体または液体源であってよい。
【０１０８】
工業用および商業用で使用するために一般的に流通しているようなCO_2（例えば、飲料の炭酸化および凍結乾燥などの食物処理、ｐＨ制御、またはドライアイスなど）は、マイクロ電子基板の処理にはあまりきれいなものではない。一般的に、このようなCO_2供給源は、有機材料、他のガス、水、および微粒子物質などの汚染物質を含む。したがって、システム３００は、供給源３１２と圧力チャンバ４１０との間に浄化ユニットＤ１を含んでよい。浄化ユニットＤ１は、CO_2供給源を要求される極めて高い清浄度および純度まで浄化するように動作する。このようにして、浄化ユニットＤ１により、食物グレードまたは工業グレードのCO_2を効率的に使用することができることで、CO_2に対して既存の供給チェーンおよび分配チェーンを使用することができるようになる。
【０１０９】
浄化ユニットＤ１は、気体または液体CO_2をフィルタリングするための以下の手段のうち１つ以上の手段を含んでよい。
１．蒸留：CO_2は、気体供給源または供給源の気体部分から引き出されてよい。液体CO_2は、引き出され、蒸発され、収集容積に再配置され、再凝縮されてよい。
２．ろ過
３．膜分離（好ましくは、蒸留と組み合わせて）および
４．吸収／吸着（例えば、引き付け力または分子サイズに基づいて捕捉）
【０１１０】
また、CO_2は、以下に記載する蒸気保存ユニット３２０にさらなるCO_2を導入することによって、プロセス（および、さらに詳しく言えば、圧力チャンバ４１０）に分配されてもよい。このようなさらなるCO_2は、浄化ユニットＤ１に対応する浄化ユニットを用いて最初に浄化されることが好ましい。
【０１１１】
［廃棄物の流れの取り扱い］
プロセスに関する記載において上述したように、さまざまな時点（典型的に、各実行の終わりを含む）で、プロセス流体は、ラインＬ１０を介して圧力チャンバ４１０から除去されてよい。このような流体は、液体、気体、または超臨界CO_2、化学物質、およびさまざまな汚染物質（例えば、ウェハから取り除かれた粒子）を含んでよい。
【０１１２】
システム３００は、圧力チャンバ４１０から除去されて引き出された廃棄物の流れを収容するための低圧力タンクＴ２を含む。タンクＴ２は、ほぼ大気～３０００ｐｓｉの間の圧力に維持されることが好ましい。タンクＴ２の容積は、圧力チャンバ４１０の容積の少なくとも５倍であることが好ましい。
【０１１３】
さまざまな組成物が、タンクＴ２から放出されることがあり、この場合、タンクＴ２は、分割されたタンクまたは複数のタンクである。タンクＴ２の圧力は、圧力チャンバ４１０の上流にあり、それと流体連通する圧力ヘッドのものより低いため、圧力差によって、廃棄物の流れが圧力チャンバ４１０からタンクＴ２内に押し進められる。高圧力タンクＴ１は、ポンプや他の機械的デバイスが不要になるように、圧力ヘッドを与えることが好ましい。
【０１１４】
分離を行いやすいようにするために、圧力チャンバ４１０からタンクＴ２へ移送するさい

に、CO_2の圧力を低減させてよい。超臨界CO_2プロセス流体が、圧力低減デバイス（例えば、制御弁またはオリフィス）によって、より低い圧力に膨張されてよい。このようなより低い圧力で、プロセス流体の成分（例えば、化学的な補助物質または混入汚染物質）が不溶性になることによって、膨張した流れを軽量流体CO_2の流れと重量流体（不溶性）の交互の流れに効率的に分離してよい。

【０１１５】

また、超臨界CO_2プロセス流体が、圧力を低減させることによって、相図の二相液体／気体領域に膨張されてもよい。これによって、異なる分割容積の分割されたタンクまたは複数のタンクにおいて、異なるプロセス流体を分割できるようにしてよい。このような分割は、混合された廃棄物の流れの発生を緩和するために有益なことがあり、単一成分流体の流れより、取り扱いにコストがかかることがある。また、分割によって、プロセス流体成分を分離する（例えば、再利用するためのCO_2と、廃棄するための化学的な補助物質および混入汚染物質とを分離する）ために、蒸留を利用することもできる。

【０１１６】

液体プロセス流体の流れが、気体状態に膨張され加熱されてよい。これによって、例えば、蒸留システム３４０に関して以下に記載するように、連続蒸留のような成分分離（すなわち、フラッシュ蒸発の蒸発）が可能になる。

【０１１７】

［再利用および低減］

その後、タンクＴ２に収容された廃棄物の流れは、ラインＬ２９（弁Ｖ１２が設けられている）を介して、再利用／低減ステーション３１０に移送される。廃棄物の流れは、ポンプなどによって移送されてよいが、圧力差および／または重力などの非機械的手段を用いて移送されることが好ましい。タンクＴ２内で廃棄物の流れが分離される範囲で、ユニット３１０による分離処理のために、分離された流れをそれぞれ送る２以上の分離ラインがあってよい。これらの流れは、以下の方法でシステム３００によって処理され方向付けられてよい。

１．CO_2は、ラインＬ２７を介して安全な大気放出および／または別の使用目的の収集へと、制御された通気または排出によって処分されてよい。

２．CO_2が、ラインＬ２２を介して圧力チャンバ４１０に直接供給されてよい。CO_2は、浄化ユニットＤ３によって浄化されることが好ましい。ラインＬ２２を通って圧力チャンバ４１０に分配されるCO_2は、大気圧より大きいものであってよく、この場合、各サイクルの始まりで、主要な処理チャンバの加圧を実行または増大させるために使用されてよい。

３．CO_2が、ラインＬ２３を介して浄化ユニットＤ１に向けられ、その後、圧力チャンバ４１０内に向けられてよい。

４．気体CO_2が、浄化ユニットＤ２を介して、液化ユニット３１４（圧力を調節し、CO_2ガスを冷却する）を介して、上述したようにさらに使用するためのCO_2貯蔵供給源３１２に供給されてよい。

５．CO_2が、浄化ユニットＤ４を通過して、加圧デバイス（例えば、ポンプ）Ｐ８を使用して、加圧され、ラインＬ２５を介して高圧力タンクＴ１に供給されてよい。

６．CO_2が、ラインＬ２６を経由して、浄化ユニットＤ５を介して、以下に記載するような蒸気保存タンク３２０に向けられてよい。

７．化学的な補助物質および汚染物質が、ラインＬ２８を介して、良好な化学的管理に従って、処理および／または廃棄／再利用されてよい。

【０１１８】

［蒸気回収］

プロセス流体を圧力チャンバ４１０から排出した後、加圧CO_2が、圧力チャンバ４１０に残る。基板（例えば、ウェハ）を取り除くために圧力チャンバ４１０を開く前に、この蒸気を除去することが望ましく、かつ必要な場合が多い。

【０１１９】

チャンバを減圧するための１つの方法は、制御された放出を用いて、チャンバを通気することである。この代わりとして、圧力チャンバ４１０に圧力をもたらすために、圧縮機またはポンプが使用されてよい。

【０１２０】

また、CO_2の圧力は、以下のような蒸気回収システム３２２および方法を用いて低減されてもよい。このような方法および装置は、１９９９年９月２４日に出願された米国特許出願第０９／４０４，９５７号および２０００年９月２５日に出願された米国特許出願第０９／６６９，１５４号に開示された方法および装置の特徴および態様を用いてよい。

【０１２１】

ラインＬ１８を介してプロセスサイクルの終わりにCO_2（典型的に、気体またはＳＣＦ）を迅速に捕捉するために、蒸気回収タンクまたは加圧容器３２２が使用される。捕捉されたCO_2は、典型的に、気体または超臨界流体であるが、液体であってもよい（その場合、固体／ドライアイスの形成を回避するために、チャンバ４１０の底部からの通気が好ましい）。このようにして、圧力チャンバ４１０は、非常に迅速に減圧されてよい。有益には、捕捉方法は、機械的なデバイス（例えば、圧縮機）の容積処理量により制限されない。蒸気回収タンク３２２の容積は、圧力チャンバ４１０の容積の１～５００倍程度であることが好ましい。

【０１２２】

捕捉されたCO_2は、以下のものを含む任意の所望の方法で取り扱われてよい。

ａ）弁Ｖ１０を有するラインＬ２１を介して、好ましくは、サージタンク３２４を介して廃棄されてよい。

ｂ）ラインＬ２１およびサージタンク３２４を用いて、別の応用（例えば、CO_2を基本として消火システムまたは何らかの他のサービスで使用する目的で再利用するための貯蔵容器）において使用するために回収され再利用されてよい。

ｃ）同じ応用において使用するために回収および再利用（圧縮および／または液化、および／またはＳＣＦに変態）されてよく、処理システムまたはCO_2供給システムに再供給されてよい。

ｄ）圧力チャンバ４１０を加圧するために、次の処理ステップにおいて使用されてよい（CO_2に基づいたプロセス流体を効果的に追加するために、十分な圧力まで加圧チャンバ４１０を加圧するための必要条件の場合がある）。

【０１２３】

蒸気回収システムは、圧力チャンバ４１０から蒸気回収タンクへの材料の移送を助力するための圧縮器Ｐ７を含んでよい。例えば、処理サイクルの終わりに、圧力チャンバ４１０は、高圧力にあってよく（蒸気圧にあるCO_2ガスまたは超臨界流体、３００＜Ｐ（ｐｓｉａ）＜３０００）、蒸気回収タンクは、低圧力であってよい。CO_2の大部分を保存しながら、圧力チャンバ４１０を低い（例えば、周囲）圧力まで非常に迅速に減圧するために（例えば、チャンバを開き、基板を除去できるように）、２つのチャンバが等化されてよく、その後、

ａ）より多くのCO_2を主要な処理チャンバから蒸気保存タンクへ押し進めるために、圧縮器が用いられてよく、および

ｂ）圧力チャンバ４１０の圧力を再度迅速に均衡させ、さらに低下させるために、第２の蒸気回収タンクが（例えば、段階的に）使用されてよい。

【０１２４】

また、第１の実行の終わりと次の実行の終わりとの間に、蒸気回収タンクから材料を除去するために、圧縮器が使用されてもよく、そのとき、蒸気回収タンクは、再度、低圧力にあることが必要な場合がある。捕捉されたCO_2は、上述した任意の方法で取り扱われてよい。

【０１２５】

システム３００には、示したものに加えて、さまざまな弁および流量制御装置が用いられてよいことを認識されたい。蒸気保存システム３２０およびラインＬ１０の廃棄物の流れ

からCO_2を取り扱うためのいくつかのオプションは独立したものであり、必要に応じて、システム３００から排除されてよい。浄化ユニットＤ２、Ｄ３、Ｄ４、Ｄ５の各々は、浄化ユニットＤ１に相当するものであってよい（すなわち、上記に挙げた方法の任意のもの、すなわち、蒸留、ろ過、膜分離、および吸収／吸着を使用してよい）。いくつかの浄化ユニットＤ２、Ｄ３、Ｄ４、Ｄ５に代わるものとして、これらの浄化ユニットの２つ以上のものが、それぞれの流路の各々が共有する浄化ユニットを通る共通した長さを有し、その後、分岐するように組み合わされてよい。

【０１２６】

［圧力チャンバアセンブリ］

図８および図９を参照すると、圧力チャンバアセンブリ４００は、上側ケース４２０および下側ケース４３０を含む。図８に示すような閉位置にあるとき、ケース４２０、４３０は、それらの間で圧力チャンバ４１０を規定し、以下にさらに詳細に記載するように密閉システム４５０が、チャンバ４１０を密閉する。図８に示すような閉位置にあるとき、一対の対向するクランプ４４０が、ケース４２０、４３０の分離を制限するように、ケース４２０、４３０の端部分を取り囲む。クランプ４４０は、ケース４２０、４３０が図９に示すような開位置へと分離するように、移動することができる。

【０１２７】

［ガードヒータ］

ガードヒータアセンブリ４６０は、チャンバ４１０内に設けられ、上側ガードヒータ４６２および下側ガードヒータ４７２を含む。ガードヒータアセンブリ４６０は、ヒータ４６２、４７２間で保持空間（holding volume）４１１を規定する。プラテンまたはチャック５１０が、ガードヒータ４６２、４７２間の保持空間４１１内に設けられ、ガードヒータ４６２、４７２間で垂直軸を中心にして回転するようにウェハ５を支持するように適合される。吹き付け部材１９０が、上側ガードヒータ４６２の溝４６４Ｆに取り付けられ、ノズル１９２を流れる流体をウェハの作業面５Ａに向けるように適合される。

【０１２８】

ケース４２０、４３０は、ステンレス鋼または他の適切な金属から各々が一体形成されることが好ましい。通路４２２Ａ、４２２Ｂ、４２２Ｃは、ケース４２０を通るように形成される。通路４３２Ａ、４３２Ｂ、４３２Ｃは、ケース４３０を通るように形成される。図９に最良に示すように、ケース４２０は、外側の環状レセス４２５が形成されるとともに垂直壁４２５Ａによって一部規定された環状フランジ４２４を有する。ケース４３０は、環状溝４３５が形成された環状フランジ４３４を有する。フランジ４３４は、垂直壁４３４Ａを有する。ケース４２０および４３０は、対向する環状当接面４２６および４３６をそれぞれ有する。

【０１２９】

図１０から図１２を参照すると、上側ガードヒータ４６２は、上壁４６４Ａおよび環状側壁４６４Ｂを有する内部部材４６４を含む。上壁４６４Ａに、螺旋状のフローチャネル４６６Ａが形成される。外板４６７が、上壁４６４Ａをカバーする。環状周囲部材４６８が、側壁４６４Ｂを取り囲み、側壁４６４Ｂとで環状周囲チャネル４６６Ｂを規定する。チャネル４６６Ｃが、チャネル４６６Ａと４６６Ｂとを流体連通するように接続する。上板４６７にある入口４６６Ｄが、通路４２２Ａをチャネル４６６Ｂと流体連通するように接続し、出口４６６Ｅが、通路４２２Ｂをチャネル４６６Ａと流体連通するように接続する。外板４６７および壁４６８は、例えば、溶接８によって内部部材４６４に固定される。吹き付け部材１９０は、外板４６７にある開口４６７Ａを通って延在し、上壁４６４Ａにある溝４６４Ｃに保持される（例えば、蒸留ノズルまたはねじによって）。吹き付け部材１９０のノズル１９２は、通路４２２Ｃと流体連通するように接続される。内部部材４６４と、外板４６７と、周囲壁４６８は、ステンレス鋼から形成されることが好ましい。ガードヒータ４６２は、壁から離れてねじを保持する小さな支柱を用いて、ねじによってケース４２０に固定されてよい。

【０１３０】

図１３および図１４を参照すると、下側ガードヒータ４７２は、内部部材４７８と、例えば、溶接８によってそれに固定された外板４７４とを含む。開口４７９が、外板４７４を通って延在し、開口４７６Ｄが、内部部材４７８を通って延在する。螺旋状のフローチャネル４７６Ａが、内部部材４７８に形成される。外板４７４にある入口通路４７６Ｂが、通路４３２Ａをチャネル４７６Ａと流体連通するように接続し、出口通路４７６Ｃが、通路４３２Ｂをフローチャネル４７６Ａと流体連通するように接続する。内部部材４７８および外板４７４は、ステンレス鋼または他の適切な金属から形成されることが好ましい。ガードヒータ４７２は、壁から離れてねじを保持する小さな支柱を用いて、ねじによってケース４３０に固定されてよい。

【０１３１】

ガードヒータ４６２、４７２の各々の表面積（すなわち、表面に内向きの「内部」）と容積の比率は、少なくとも０．２ｃｍ^2／ｃｍ^{3}であることが好ましい。ガードヒータ４６２、４７２の各々の表面積と容積の比率は、約０．２～５．０ｃｍ^2／ｃｍ^{3}の間であることがより好ましく、および約０．６ｃｍ^2／ｃｍ^{3}であることが最も好ましい。

【０１３２】

上述したように、ウェハ環境（すなわち、チャンバ４１０とその中の流体）の温度は、洗浄および他のプロセスステップ中およびそれらの間、制御されることが好ましい。チャンバ４１０の温度は、ガードヒータアセンブリ４６０を用いて制御される。より詳しくは、温度制御流体の流れは、通路４２２Ａ、入口開口４６６Ｄ、チャネル４６６Ｂ、通路４６６Ｃ、通路４６６Ａ、出口開口４６６Ｅを通って、通路４２２Ｂから出るように導入される。このようにして、温度制御流体からの熱が、ガードヒータ４６２に伝達されて、ガードヒータ４６２を加熱し（流体がガードヒータ４６２より熱いとき）、または、この代わりとして、ガードヒータ４６２からの熱が流体によって吸収され除去されて、ガードヒータ４６２を冷却する（流体がガードヒータ４６２より冷たいとき）。下側ガードヒータ４７２は、通路４３２Ａ、入口開口４７６Ｂ、チャネル４７６Ａ、出口開口４７６Ｃ、および通路４３２Ｂを通って流れる温度制御流体によって、同様に加熱または冷却されてよい。

【０１３３】

温度制御流体は、任意の適切な流体であってよく、液体であることが好ましい。適切な流体は、水、エチレン、グリコール、プロピレングリコール、エチレンまたはプロピレングリコールのいずれかと水との混合物、ダウサムＡ（酸化ジフェニルおよびジフェニル）、ダウサムＥ（０－ジクロロベンゼン）、鉱油、モビルサム（芳香族鉱油）、サーミノールＦＲ（塩化ビフェニル）を含む。温度制御流体は、水とエチレングリコールの５０％／５０％混合物であることが最も好ましい。流体は、電気、ガス燃料、またはスチームヒータなどの任意の適切な手段によって加熱されてよい。流体は、例えば、蒸気圧縮式冷却タイプまたは蒸発タイプの流体冷却器などの任意の手段によって冷却されてよい。

【０１３４】

ガードヒータアセンブリ４６０およびケース４２０、４３０は、ガードヒータ４６２、４７２を実質的に包囲する絶縁ギャップ４７０をそれらの間に規定する。さらに詳しく言えば、絶縁ギャップ４７０Ａが、外板４６７と、ケース４２０の隣接する周囲壁部分との間に規定され、好ましくは、幅Ａを有する。絶縁ギャップ４７０Ｂが、周囲壁４６８と、ケース４２０の隣接する壁との間に規定され、幅Ｂを有する。絶縁ギャップ４７０Ｃが、外板４７４と、ケース４３０の隣接する周囲壁部分との間に規定され、幅Ｃを有する。幅Ａ、Ｂ、およびＣの各々が、少なくとも０．１ｍｍであることが好ましい。幅Ａ、Ｂ、およびＣの各々が、約０．１～１０ｍｍの間であることがより好ましく、および約１．０ｍｍであることが最も好ましい。

【０１３５】

絶縁ギャップ４７０は、システム１０の効率性、制御性、および製造スループットを実質的に高めるように作用してよい。絶縁ギャップ４７０は、ガードヒータ４６２、４７２をケース４２０、４３０から実質的に熱的に絶縁することによって、ウェハ５を取り囲む雰

囲気にケース４２０、４３０の温度が及ぼす影響が低減され、または最小限に抑えられる。再度述べるが、絶縁ギャップ４７０は、温度制御流体によってガードヒータ４６２、４７２の熱量に加熱または冷却されなければならない熱量を実質的に制限してよい。したがって、プロセス流体の温度は、ケース４２０、４３０の温度と実質的に異なるように制御されてよい。

【０１３６】

流体フロー加熱／冷却装置を図示し上述してきたが、ガードヒータ４６２、４７２を加熱／冷却するための他の手段が、流体加熱に加えて、またはその代わりとして用いられてよい。例えば、電気抵抗コイル（例えば、ウェハに直接熱放射するためのもの）が、ガードヒータ４６２、４７２に与えられてよい。

【０１３７】

図１８を参照すると、本発明の別の実施形態による圧力チャンバアセンブリ４００Ａが示されている。アセンブリ４００Ａとアセンブリ４００との違いは、ガードヒータアセンブリ４６０Ａが、絶縁ギャップ４７０の代わりに絶縁層４７１、４７３を含む点のみである。ガードヒータ４６２、４７２は、ケース４２０、４３０にそれぞれ固定される絶縁層４７１、４７３に固定されてよい。

【０１３８】

絶縁層４７１、４７３は、ＰＣＴＦＥ（ポリクロロトリフルオロエチレン）、ＰＴＦＥ（ポリテトラフルオロエチレン）、またはＰＶＦ２（ポリビニリデンジフルオライド）などの結晶フルオロポリマーから形成されてよい。絶縁層４７１、４７３は、バルクＰＴＦＥ、純ＰＴＦＥ、またはガラス充填ＰＴＦＥから形成されることが好ましい。絶縁層４７１、４７３は、ハニカム、オープンセル、または、絶縁性を高めるために作製または構成されたものであってよい。

【０１３９】

ガードヒータアセンブリ４６０、４６０Ａは、約０℃～９０℃の範囲の温度を圧力チャンバ４１０に与えるように適応されることが好ましい。ガードヒータアセンブリ４６０、４６０Ａは、少なくとも５００ジュール／秒の最大量で、圧力チャンバ４１０の雰囲気に熱を与えるように適応されることが好ましい。

【０１４０】

［圧力チャンバ密閉システム］

また、圧力チャンバ４１０を規定するケース４２０、４３０は、圧力チャンバ４１０から外部領域７（例えば、周囲雰囲気（直接的または間接的））への境界で、流体漏出路３（図１５）を規定する。密閉システム４５０は、流体漏出路３に沿って流体の流れを制限（完全または部分的に）するように適応される。

【０１４１】

図１５に最良に示すように、密閉システム４５０は、Ｏリング４５２と、環状カップ（またはシェブロン）シール４５４と、環状ばね４５６と、環状保持リング４５８とを含む。以下に記載するように、シール４５２、４５４の組み合わせは、圧力チャンバシールの効率性および耐久性を高めるように作用する。

【０１４２】

保持リング４５８は、フランジ４２４に固定され、フランジ４３４の方へ半径方向外向きに、レセス４２５の下方に延在する。保持リング４５８は、ステンレス鋼または他の適切な材料から形成されてよい。保持リング４５８は、任意の適切な手段、例えば、ネジ付きファスナによって、フランジ４２４に固定されてよい。

【０１４３】

図１６および図１７に、カップシール４５４が示されている。本明細書で使用する「カップシール」とは、くぼみ部分を有し、シールのくぼみ部分が加圧されると（例えば、シールのくぼみ側上に加圧されたチャンバによって）、シールが内向きに加圧されて、外向きの力（例えば、圧力チャンバを規定する圧力容器の隣接する表面に対して）をかけるようにされることによってシールを形成するように構成された任意の自己付勢シールを意味す

る。カップシール４５４は、環状の折り目４５４Ｃに沿って環状外壁４５４Ａに接合され、そこに環状チャネル４５４Ｄを規定する環状内壁４５４Ｂを含む。

【０１４４】

カップシール４５４は、可撓性のある弾性材料から一体形成されることが好ましい。カップシール４５４は、高密度CO_2にさらされたとき膨張およびダメージに耐性である材料から形成されることが好ましい。適切な材料は、ＰＴＦＥ（テフロン（登録商標）、ＤｕＰｏｎｔ社）、充填ＰＴＦＥなどのフッ素化ポリマーおよびエラストマー、ＦＥＰ（フッ素化エチレン／プロピレンコポリマー）、テフロンＡＦ、ＣＴＦＥなどのＰＴＦＥコポリマーおよび類似体、ポリエチレン、ＵＨＭＷＰＥ（超高分子量ポリエチレン）、ＰＰ、ＰＶＣ、アクリルポリマー、アミドポリマーなどの他の高安定プラスチック、およびネオプレン、ブナ－Ｎ、およびエピクロロヒドリン系エラストマーなどのさまざまなエラストマーを含む。適切なシール材料は、ＰＳＩ Ｐｒｅｓｓｕｒｅ Ｓｅａｌｓ Ｉｎｃ．、３１０ Ｎｕｔｍｅｇ Ｒｏａｄ Ｓｏｕｔｈ、Ｓｏｕｔｈ Ｗｉｎｄｓｏｒ、ＣＴ ０６０７４から入手可能である。

【０１４５】

カップシール４５４は、内壁４５４Ｂおよび折り目４５４Ｃの少なくとも一方および好ましくは両方を、フランジ４２４および／または保持リング４５８の隣接部分に固定することによって、フランジ４２４に固定されてよい。内壁４５４Ｂ、４５４Ｃは、例えば、接着剤を用いてフランジ４２４に固定されてよい。カップシール４５４は、接着剤などを使用することなく、保持リング４５８によって保持されることが好ましい。

【０１４６】

ばね４５６は、内壁４５４Ｂから離れて（すなわち、半径方向外向きに）外壁４５４Ａを繰り返し確実にバイアス付与することが可能な任意の適切なばねであってよい。ばね４５６は、ケース４２０、４３０が分離されるとき（図９を参照）、フランジ４２４を超えて半径方向外向きにカップシール４５４をバイアス付与する。ばね４５６は、カップシール４５４に類似した、またはそれよりも小さい形状を有し、カップシール４５４内に嵌め込まれた巻線ばねまたはカンチレバータイプのばねであることが好ましい。ばね４５６は、ばね級ステンレス鋼から形成されることが好ましい。ばね４５６は、カップシール４５４で一体形成されてよい。ばね４５６を設けることに加え、またはその代わりに、カップシール４５４は、壁４５４Ａ、４５４Ｂを広げるための固有バイアスを有するように形成されてよい。さらに、ばね４５６は省略されてよく、カップシール４５４に、固有バイアスが与えられなくてもよい。

【０１４７】

Ｏリング４５２は、溝４３５に配置される。Ｏリング４５２は、締まり嵌合によって溝４３５に固定されることが好ましい。Ｏリングは、変形可能な弾性材料から形成される。Ｏリング４５２は、エラストマー材料から形成されることが好ましい。Ｏリング４５２は、ブナｎまたはネオプレンであることがより好ましく、およびＥＤＰＭであることが最も好ましい。Ｏリング４５２のサイズは、Ｏリング４５２が装填されていない状態にあるとき（すなわち、ケース４２０、４３０が分離されているとき、図９を参照）、Ｏリング４５２の一部分が、当接面４３６の上方に延びるようなものである。

【０１４８】

ケース４２０、４３０が閉じられると、カップシール４５４は、図８および図１５に示すように、フランジ４２４および４３４の間に捕捉される。ばね４５６は、壁４５４Ａおよび４５４Ｂを、壁４３４Ａおよび４２５Ａに対してそれぞれバイアスをかける。チャンバ４１０が周囲圧力より上に加圧されると、チャネル４５４Ｄにかけられる圧力は、壁４５４Ａおよび４５４Ｂを離すようにして、それぞれの壁４３４Ａおよび４２５Ａとより密に密閉係合状態にさせる。

【０１４９】

このようにして、カップシール４５４により、流体漏出路３に沿ってチャンバ４１０からＯリング４５２への流体の流れを防止または実質的に低減する確実で主要なシールが得ら

れる。それによって、Ｏリング４５２は、潜在的にダメージを与えるプロセス流体への露出が回避される。Ｏリング４５２をこのように保護することによって、特に、プロセス流体が高圧力CO_2を含む場合、Ｏリング４５２の耐用年数が実質的に長くなることがある。したがって、密閉システム４５０は、比較的長い寿命のシールを有する高スループットのウェハ製造システムを与えることがある。

【０１５０】

特に、チャンバ４１０が加圧されると、ケース４２０、４３０は、内圧によって若干分離されて、Ｏリング４５２が密閉するためにうまく装填されないことがある。それにもかかわらず、カップシール４５４が主要シールとして作用するため、信頼性のある密閉装置が提供されてよい。しかしながら、カップシール４５４が部分的または完全に不具合が生じた場合、Ｏリング４５２は、環境へのプロセス流体の漏出を防止または低減するように作用してよい。ある実施形態により、Ｏリングが加圧されず、延長された時間期間、ダメージを与えるプロセス流体（例えば、CO_2）がＯリングと接触しないように、チャンバ４１０が少なくとも選択された圧力にあるとき、アセンブリ４００は、Ｏリング４５２によって、流体が流体漏出路３に沿って通過できるように適応されてよい。

【０１５１】

チャンバ４１０にある流体が、大気圧または真空であるとき、カップシール４５４の密閉効率は、典型的に、減少することになる（しかしながら、ばね４５６のバイアスは、ある一定の密閉性能を与えることがある）。この場合、Ｏリング４５２は、流体漏出路３を介してチャンバ４１０内への大気流体の漏出を防止または減少させるための主要なシールとして作用してよい。特に、大気流体（通常、空気）は、典型的に、高密度CO_2またはＯリング材料に対して過度に有害な他の成分を含まない。

【０１５２】

好ましくは、図示するように、Ｏリング４５２密閉構成は、スライド構成部品が存在しない突合せタイプの構成である。カップシール４５４の圧力付勢機構によって、ばね４５６に対して比較的低いバイアス力を使用することができるようになる。本発明のこれらの態様は、ウェハ５に有害な場合がある任意の粒子の発生を最小限に抑えるように助力する。カップシール４５４は、圧力チャンバアセンブリ別の方法で配向または配置されてよい。カップシール４５４の２つ以上は、流体漏出路に沿って直列に配設されてよい。

【０１５３】

本明細書の記載から、カップシールとエラストマーＯリングシールとを組み合わせることによって、典型的に、エラストマーＯリングシールでもカップシールでも解消することができないCO_2保持容器の高圧力密閉に関連する問題が解消されることを認識されたい。特に、エラストマーＯリングの寿命は、高圧力CO_2へ露出された後、急速に減圧される場合、一般的に、長くない。圧力シールとして使用される場合のカップシールには、典型的に、真空サービスに対して同じ容器を可能にするために、大きな予荷重ばねが必要である。このような大きな予荷重によって、摩擦および摩耗が大きくなり、それによって、ダメージ／汚染粒子の発生が生じることがある。本発明によれば、エラストマーＯリングは、チャンバ内に真空を確立するために必要な場合、外部で付勢（圧縮）されてよい。

【０１５４】

［ウェハ保持アセンブリ］

図１９から図２２を参照すると、これらには、本発明のさらなる実施形態によるウェハ保持アセンブリ５２０が示されている。アセンブリ５２０は、圧力チャンバアセンブリ４００に対応する圧力チャンバアセンブリ４００Ｂ（図１９）のチャック５１０の代わりに使用されてよい。以下の記載からより深く認識されるように、ウェハ保持アセンブリ５２０は、基板ホルダまたはプラテンまたはチャック５２２を含み、チャック５２２の回転により生じる圧力差によって、チャック５２２上にウェハを保持するように適合される。

【０１５５】

チャック５２２は、前面５２４とその反対側の背面５２８とを有する。複数の（図示では８枚の）インペラ羽根５２９が、背面５２８から後方に向かって、かつ中心回転軸Ｅ－Ｅ

（図１９）に対して半径方向外向きに延在する。複数の（図示では４本の）通路５２６Ａが、背面５２８から、前面５２４に形成された円周チャネル５２６Ｂまで、チャック５２２を完全に貫いて延在する。複数の（図示では１６本の）チャネル５２６Ｃが、チャネル５２６Ｂから半径方向外向きに延在し、チャネル５２６Ｂと流体連通する。さらなる円周チャネル（図示せず）をチャネル５２６Ｃと流体連通するように接続してよい。

【０１５６】

図１９に示すように、チャック５２２は、従動シャフト５３０に取り付けられ、回転軸Ｅ－Ｅを中心にして従動シャフト５３０とともに回転する。チャック５２２が回転すると、インペラ羽根５２９は、背面５２８と隣接する圧力チャンバ４１０の対向面４１２との間にある流体を、チャック５２２の外周の方へ、半径方向外向きの方向Ｆで押し進ませるまたは動かす傾向にある。それによって、チャック５２２の下方において、チャック５２２の内側領域（すなわち、軸Ｅ－Ｅに最も近い領域）とチャックの外側領域との間で、圧力差が生じる。さらに詳しく言えば、中央領域の圧力（通路５２６Ａの下側開口での圧力を含む）は、チャック５２２の外側縁部の圧力や、チャック５２２の反対側にあるウェハ５側でのチャンバ４１０の圧力よりも低い。その結果、ウェハ５の上面にかかる流体圧力とチャネル５２６Ｂ、５２６Ｃ内の流体の圧力との間に、差が生じる。

【０１５７】

前述したように、ウェハ５は、チャック５２２とウェハ５の回転に伴ってチャック５２２に固定される。回転を始動させる前、または回転を伴わないプロセスステップ中、チャック５２２にウェハ５を保持するために、および／またはさらなる固定を提供するために、補助的な保持手段を設けてもよい。このような補助的な手段は、例えば、接着剤、クランプ、および／または以下に記載するウェハ保持アセンブリ５５０などの外部発生圧力差アセンブリを含む。

【０１５８】

図２３から図２５を参照すると、これらには本発明のさらなる実施形態によるウェハ保持システム５５１が示されている。システム５５１は、ウェハ保持アセンブリ５５０を含み、圧力チャンバアセンブリ４００に対応する圧力チャンバアセンブリ４００Ｃ（図２３）においてチャック５１０の代わりに使用されてよい（明確にするために、アセンブリ４００Ｃのいくつかの要素を図示せず）。アセンブリ４００Ｃには、磁気駆動アセンブリ５８０がさらに設けられる。

【０１５９】

以下の記載からより深く認識されるように、ウェハ保持アセンブリ５５０は、基板ホルダまたはプラテンまたはチャック５５２を含み、圧力チャンバ４１０内の圧力と出口５６４での圧力との間の圧力差によって、チャック５５２にウェハ５を保持するように適合される。磁気駆動システム５８０は、相対可動要素（すなわち、シャフト５６０およびケース４３０）との間に直接密閉性を要求することなく、圧力チャンバ４１０に対してチャック５５２を駆動するように適合される。ウェハ保持システム５５１は、他の駆動構成とともに使用されてよく、磁気駆動アセンブリ５８０は、他のウェハ保持機構とともに使用されてよいことを認識されたい。

【０１６０】

磁気駆動アセンブリ５８０をさらに詳細に参照すると、アセンブリ５８０は、上側ハウジング５８５および下側ハウジング５８４を含む。上側ハウジング５８５の上側端部は、ケース４３０内に収容され、これらの間には気密シールが設けられている（例えば、ガスケットなどの適切な密閉デバイスによって）。シャフト５６０は、ハウジング５８５内に延在し、上側軸受５８６および下側軸受５８８によって回転可能にハウジング５８５に取り付けられる。シャフト５６０とハウジング部材５８５との間に、シール５６１が配置される。シール５６１は、非接触シールであることが好ましい。シール５６１は、ギャップシール（より好ましくは、約０．００１から０．００２インチの間の幅を有するギャップＧを規定する）またはラビリンスシールであることがより好ましい。また、シール５６１は、リップシールまたは機械的シールであってもよい。

【０１６１】
内側磁石ホルダ５９０が、シャフト５６０とともに回転するためにシャフト５６０の下側端部に取り付けられ、内側磁石ホルダ５９０の外側部分には、内側磁石Ｍ１が取り付けられる。内側磁石キャリヤ５９０は、下側ハウジング部材５８４内に設けられる。圧力キャップ５９６が、内側磁石キャリヤ５９０を取り囲み、下側ハウジング部材５８４の下側端部と気密シールを形成する（例えば、ガスケットなどの適切な密閉デバイスによって）。このようにして、圧力キャップ５９６と上側ハウジング部材５８５とで、圧力チャンバ４１０から上側ハウジング部材５８５に入ってよい流体用の気密貯蔵部を形成する。
【０１６２】
ハウジング部材５８４には、駆動ユニット５８２が取り付けられる。駆動ユニット５８２は、油圧式駆動ユニット、または、より好ましくは、電気式駆動ユニットなどの任意の適切な駆動デバイスであってよい。駆動ユニット５８２は、ハウジンウ部材５８４内に延びるシャフト５９４を回転させるように動作する。外部磁石ホルダ５９２が、シャフト５９４とともに回転するためにシャフト５９４に取り付けられる。外部磁石ホルダ５９２は、ハウジング部材５８４内に設けられるが、圧力キャップ５９６によって、内側磁石ホルダ５９０および圧力チャンバ４１０から機械的および流体的に分離される。外部磁石Ｍ２が、外部磁石ホルダ５９２とともに回転するために外部磁石ホルダ５９２に取り付けられる。
【０１６３】
磁石Ｍ１およびＭ２は、互いに磁気的に連結されるように相対的に組み立てられ、配置され、構成される。このようにして、磁石Ｍ１、Ｍ２は、外部磁石ホルダ５９２と内部磁石ホルダ５９０を、およびそれらによってシャフト５９４とシャフト５６０を間接的に機械的に連結するように作用する。このように、チャック５２２は、駆動ユニット５８２の動作によって回転されてよい。
【０１６４】
磁気駆動アセンブリ５８０は、本明細書に記載するように適切な修正を備えた任意の適切な駆動アセンブリであってよい。適切な磁気駆動アセンブリは、Ｂｕｅｃｈｉ　ＡＧ、Ｕｓｔｅｒ、Ｓｗｉｔｚｅｒｌａｎｄから市販されているＢＭＤ１５０を含む。さらに、他のタイプの非機械的連結駆動ユニットが使用されてよい。
【０１６５】
図２４および図２５に最良に示すように、チャック５５２は、前面５５４を有する。座ぐり穴通路５５６Ｂが、チャック５５２を貫通して延在する。複数のチャネル５２６Ａが、通路５５６Ｂから半径方向外向きに延在し、通路５５６Ｂと流体連通する。さらなる円周チャネル（図示せず）が、チャネル５２６Ａを流体連通するように接続してよい。
【０１６６】
図２３に示すように、チャック５５２は、回転軸Ｆ－Ｆを中心にしてシャフト５６０とともに回転するためのナット５５８によって、従動シャフト５６０に取り付けられる。シャフト５６０は、シャフト５６０内を軸方向に延在する接続通路５６２を有する。ナット５５８は、通路５６２と通路５５６Ｂとの間を流体連通させることができる中央孔を有する。通路５６３が、シャフト５６０内を半径方向に延在し、ハウジング５８５とシャフト５６０との間で規定される二次チャンバ５６５と通路５６２とを流体連通するように接続する。シール５６１は、圧力チャンバ４１０と二次チャンバ５６５との間を流体連通させる流量制限通路を形成する非接触シール（例えば、ギャップシールまたはラビリンスシール）であることが好ましい。
【０１６７】
ハウジング部材５８５の出口５６４が、二次チャンバ５６５とラインＬ４０とを流体連通するように接続する。弁Ｖ３０を有するラインＬ４１が、流量制限器５６６および貯蔵タンク５６８をラインＬ４０と流体連通するように接続する。流量制限器５６６は、絞りオリフィスや、そこを通る流れを制御して制限するように適合されたニードル弁などの適切な部分閉鎖弁であってよい。弁Ｖ３１を有するラインＬ４２が、流体移送デバイスＰ２０

（例えば、真空ポンプ）をラインＬ４０と流体連通するように接続する。
【０１６８】
システム５５１は、チャック５５２にウェハ５を固定するために以下の方法で使用されてよい。典型的なプロセス条件下で圧力チャンバ４１０の大気圧より低い圧力が、貯蔵タンク５６８に与えられる。処理中、受動型低圧源（すなわち、圧力または真空を発生させるために、ポンプ、圧縮器などが用いられない）として作用する貯蔵タンク５６８と二次チャンバ５６５が流体連通するように、弁Ｖ３０が開かれる。このようにして、チャンバ５６５（ひいては、流体連通するチャネル５５６Ａ）の圧力は、圧力チャンバ４１０の圧力より低い。それによって、ウェハ５の上面とウェハ５の裏面との間に圧力差が生成されて、ウェハ５は、チャック５５２上で下方に、方向Ｄに引き寄せられる。
【０１６９】
流量制限器５６６は、二次チャンバ５６５から貯蔵タンク５６８への流体の流れを制限することによって、漏出を制限するように作用する。漏出を制御すると、圧力チャンバ４１０から流体を過度に損失することなく、ウェハ５を適所に保持するように、ウェハ５にわたって十分な圧力差が与えられる。
【０１７０】
好ましくは、貯蔵タンク５６８の圧力は、大気圧より大きいが、意図するプロセスの間、圧力チャンバ４１０の圧力より低い。貯蔵タンク５６８は、圧力チャンバ４１０から引き出されたガスが、洗浄され、回収され、または廃棄されるようにしてよい。
【０１７１】
この代わりとして、貯蔵タンク５６８は、弁Ｖ３０が開かれるとき、ラインＬ４１が大気に直接通気するように省略または迂回されてよい。
【０１７２】
圧力チャンバ４１０の大気圧が、受動型低圧源（すなわち、貯蔵タンク５６８または周囲大気）の圧力と同じか、またはその圧力より低ければ、流体移送デバイスＰ２０は、ウェハ５にわたった所望量の圧力差を生成するために、チャンバ５６５の圧力を圧力チャンバ４１０の圧力より低い圧力に低減するように動作されてよい。この場合、弁Ｖ３０は閉じられ、弁Ｖ３１は開かれる。
【０１７３】
システム５５１は、圧力チャンバ４１０の圧力より低い少なくとも１ｐｓｉ低く、より好ましくは、約５～２０ｐｓｉ低いものであるチャネル５５６Ａの圧力を発生するように動作することが好ましい。
【０１７４】
［回転吹き付け部材］
上述したような吹き付け部材１９０および以下に記載する吹き付け部材６０２、６５２は、ウェハの表面に直接プロセス流体を送るための分散された入口を与える。さらに、吹き付け部材は、流体／表面の衝突からの機械的作用を取り入れたこれらの流体の分散した流れを与える。この機械的作用は、一般的に、吹き付け部材からの流体の流れの運動量の結果である。
【０１７５】
吹き付け部材のデザイン（たとえば、吹き付け口の数、間隔、サイズを含む）が、エネルギー伝達／機械的作用の使用を選択的に制御するために使用されてよい。さらに、ウェハを同時に回転させると、流体とウェハ表面間に剪断（運動量）が生じて、表面から材料をさらに除去しやすくなる。
【０１７６】
図２６を参照すると、これには本発明のさらなる実施形態による圧力チャンバアセンブリ４００Ｄが示されている。アセンブリ４００Ｄは、例えば、回転吹き付け部材アセンブリ６００が設けられていること以外、アセンブリ４００と同じであってよい（明確にするために、図２６にいくつかの態様を図示せず）。アセンブリ４００Ｄは、回転駆動式のウェハホルダ５１０を含んでよく、または、ウェハ５は、静止した状態に保持されてよい。吹

き付け部材アセンブリ６００は、上述した圧力チャンバアセンブリの任意のものとともに使用されてよい。特に、吹き付け部材アセンブリ６００は、回転ウェハホルダを必要とすることなく、吹き付け部材とウェハとの間に相対的な回転をもたらすように使用されてよい。

【０１７７】

吹き付け部材アセンブリ６００は、図２７および図２８にも示すような吹き付け部材６０２を含む。吹き付け部材６０２は、シャフト部分６１０および棒状の分配部分６２０を含む。軸方向通路６１２が、上側開口６１４から部分６１０を介して延在し、部分６２０の横方向通路６２２と流体連通する。一連の吹き付け口６２４が、通路６２２から、分配部分６２０の下側外縁部まで延在する。吹き付け部材６０２は、３１６ステンレス鋼などの高酸化安定材料から形成されてよい。

【０１７８】

軸受６３０のフランジ６３２が、通路４２７の拡大部分４２７Ａに収容されるように、ケース４２０の通路４２７内に、軸受６３０が固定される。軸受６３０は、図示するようなスリーブ軸受であることが好ましい。軸受６３０は、ＰＴＦＥ、ＰＥ、またはＰＥＥＫから形成されてよい。軸受６３０は、ＰＴＦＥから形成されることが好ましい。

【０１７９】

シャフト部分６１２は、軸受６３０を通って延在し、フランジ６３２の上にあるフランジ６１６を有する。エンドキャップ６４０が、例えば、ねじ切りによって、部分４２７Ａ内およびフランジ６１６上においてケース４２０に固定して取り付けられる。エンドキャップ６４０は、ケース４２０と気密耐圧性シールを形成することが好ましい。

【０１８０】

エンドキャップ６４０は、プロセス流体の流れが、通路６４２を通って通路６１２内に向けられるように、プロセス流体の供給源（例えば、供給ライン９から）を受けるように適合される。流体は、通路６２２内に続き、吹き付け口６２４を通って分散される。

【０１８１】

図２７および図２８を参照すると、吹き付け口６２４は、吹き付け部材６０２の対象となる回転軸Ｎ－Ｎ（図２８を参照）に対して角度が付けられている。吹き付け口６２４は、約０～８５度、より好ましくは、約３０～６０度の間の角度Ｍ（図２８）に配置されることが好ましい。吹き付け口６２４は、対象となる回転の方向Ｒ（図２７）と反対に角度が付けられる。

【０１８２】

使用時、吹き付け口６２４を出る流体に応答する反応力（すなわち、水圧推進）によって、吹き付け部材６０２は、軸受６３０内で軸Ｎ－Ｎの周りを回転する。特に、軸受６３０が、エンドキャップ６４０の周囲圧力から分離された圧力チャンバ４１０の内部（すなわち、高圧力領域内）に取り付けられるため、軸受は、実質的な圧力低下からの荷重にさらされない。

【０１８３】

この代わりとして、または、油圧駆動式回転に加えて、吹き付け部材６０２は、駆動ユニットに連結されてよい。吹き付け部材は、駆動ユニットに直接的または間接的に機械的に連結されてよく（例えば、軸受／シール／駆動ユニット構成を用いて）、非機械的に連結されてよい（例えば、電磁気的または磁気的（永久、電子、または誘導駆動式）結合の結合力を用いて）。吹き付け口６２４の一部またはすべては、回転軸Ｎ－Ｎに対して平行に配向されてよい。

【０１８４】

本発明のさらなる実施形態による吹き付け部材６５２が、吹き付け部材６０２の代わりとして、および前述した修正または特徴の任意のものとともに用いられてよい。吹き付け部材６５２は、シャフト部分６６０を有し、棒状の分配部分６２０が、吹き付け口６７４のパターンが形成されたプレート状またはディスク状の分配部分６７０で置き換えられている以外、吹き付け部材６０２に対応する。吹き付け口６７４のパターンは、修正されてよ

い。

【０１８５】

上述し、特許請求の範囲に反映された本発明のさまざまなものが、好適な実施形態に関して詳細に上述したもの以外のプロセスに対して使用されてよいことを認識されたい。例えば、ウェハをチャックに保持する手段および方法は、他のタイプのプロセス（例えば、CO_2を伴わないプロセスやウェハ製造）において、他のタイプの基板を保持するように用いられてよい。供給／回収システム３００およびそのサブシステムは、CO_2を用いた化学機械平坦化（ＣＭＰ）システムなど、CO_2含有プロセス流体を用いて、他のシステムおよびプロセスにおいて使用されてよい。

【０１８６】

前述した記載は、本発明を例示的に示すものであって、本発明を制限するものとして解釈されるべきではない。本発明のいくつかの例示的な実施形態について記載してきたが、当業者であれば、本発明の新規の教示および利点から実質的に逸脱することなく、例示的な実施形態における多数の修正が可能であることを容易に理解するであろう。したがって、このようなすべての修正は、本発明の範囲内に含まれることが意図されている。したがって、前述した記載は、本発明を例示的に示すものであって、開示した特定の実施形態に限定されるものとして解釈されるべきではなく、開示した実施形態への修正とともに、他の実施形態も本発明の範囲内に含まれるものと意図されている。

【図面の簡単な説明】

【０１８７】

【図１】本発明の実施形態による装置のブロック図である。

【図２】図１の装置の一部品をなす化学物質供給／調節システムのブロック図である。

【図３】図１の装置の一部品をなす別の化学物質供給／調節システムのブロック図である。

【図４】図１の装置の一部品をなすさらなる別の化学物質供給／調節システムのブロック図である。

【図５】図１の装置の一部品をなす別の再循環システムのブロック図である。

【図６】図１の装置の一部品をなすさらなる別の再循環システムのブロック図である。

【図７】本発明の実施形態による供給／回収システムのブロック図である。

【図８】閉位置にある本発明の実施形態による圧力チャンバアセンブリの断面図である。

【図９】開位置にある図８の圧力チャンバアセンブリの断面図である。

【図１０】図８の圧力チャンバアセンブリの一部品をなす上側ガードヒータの断面図である。

【図１１】図１０の上側ガードヒータの平面図である。

【図１２】図１０のガードヒータの底面図である。

【図１３】図８の圧力チャンバアセンブリの一部品をなす下側ガードヒータの断面図である。

【図１４】図１３の下側ガードヒータの底面図である。

【図１５】図８の圧力チャンバアセンブリの拡大断面断片図である。

【図１６】図８の圧力チャンバアセンブリの一部品をなすカップシールの斜視図である。

【図１７】図１６のカップシールの断片斜視図である。

【図１８】本発明のさらなる実施形態による圧力チャンバアセンブリの断面図である。

【図１９】本発明のさらなる実施形態による圧力チャンバアセンブリの断面図である。

【図２０】図１９の圧力チャンバアセンブリの一部品をなすチャックの平面図である。

【図２１】図２０のチャックの底面図である。

【図２２】図２１の線２２－２２に沿って切り取った図２０のチャックの断面図である。

【図２３】本発明のさらなる実施形態による圧力チャンバアセンブリの略図的断面図である。

【図２４】図２３の圧力チャンバアセンブリの一部品をなすチャックの平面図である。

【図２５】図２４の線２５－２５に沿って切り取った図２４のチャックの断面図である。

【図２６】本発明のさらなる実施形態による圧力チャンバアセンブリの断面図である。
【図２７】図２６の圧力チャンバアセンブリの一部品をなす吹き付け部材の底面図である。
【図２８】図２７の線２８－２８に沿って切り取った図２７の吹き付け部材の断面図である。
【図２９】本発明のさらなる実施形態による吹き付け部材の底面図である。

【図６】

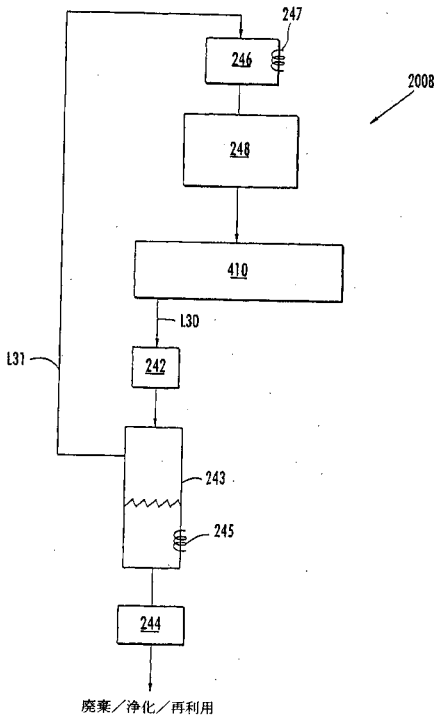


FIG. 6.

【図７】

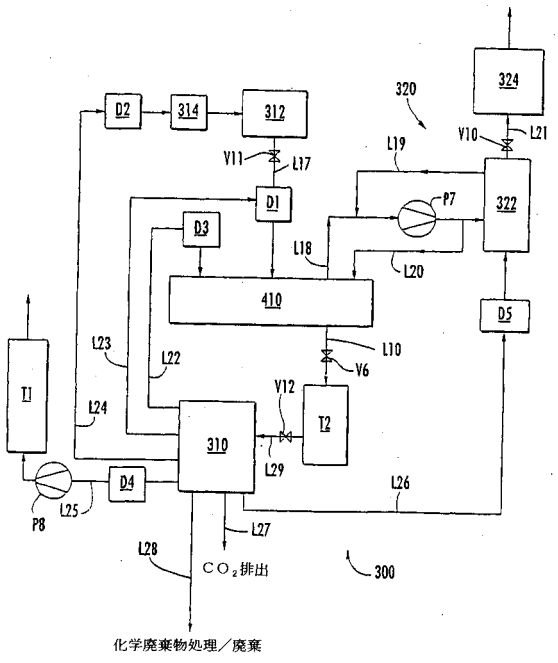


FIG. 7.

【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
20 March 2003 (20.03.2003)

PCT

(10) International Publication Number
WO 03/023827 A1

(51) International Patent Classification[7]: H01L 21/00, B08B 7/00

(21) International Application Number: PCT/US02/24004

(22) International Filing Date: 30 July 2002 (30.07.2002)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
09/951,355 13 September 2001 (13.09.2001) US

(71) Applicant *(for all designated States except US)*: **MICELL TECHNOLOGIES, INC.** [US/US]; 7516 Precision Drive, Raleigh, NC 27613 (US).

(72) Inventor; and

(75) Inventor/Applicant *(for US only)*: **WORM, Steve, L.** [US/US]; 4706 St. Thomas Place, Raleigh, NC 27612 (US).

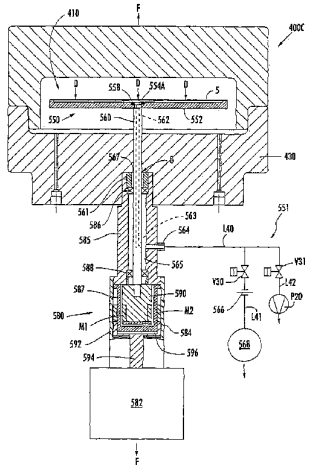
(74) Agents: **BEATTY, David, B.** et al.; Myers Bigel Sibley & Sajovec, P.O. Box 37428, Raleigh, NC 27627 (US).

(81) Designated States *(national)*: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States *(regional)*: ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK,

[Continued on next page]

(54) Title: PRESSURE CHAMBER ASSEMBLY INCLUDING DRIVE MEANS



(57) Abstract: A pressure chamber assembly (400) for processing a substrate (5) includes a pressure vessel defining an enclosed pressure chamber (410). A substrate holder (552) is disposed in the pressure chamber (410) and is adapted to hold the substrate (5). A drive assembly (580) is operable to move the substrate holder (552). The drive assembly (580) includes a first drive member (560, 590) connected to the substrate holder (552) for movement therewith relative to the pressure vessel and a second drive member (592, 594) fluidly isolated from the first drive member and the pressure chamber. A drive unit (582) is operable to move the second drive member (592, 594). The drive unit (582) is fluidly isolated from the first drive member (560, 590) and the pressure chamber (410). The second drive member (592, 594) is non-mechanically coupled to the first drive member (560, 590) such that the drive unit (582) can move the substrate holder (552) via the first and second drive members.

WO 03/023827 A1

WO 03/023827 A1

TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

Published:
— *with international search report*

PRESSURE CHAMBER ASSEMBLY INCLUDING DRIVE MEANS

Field of the Invention

The present invention relates to pressure chambers and, more particularly, to a pressure chamber assembly including drive means.

Background of the Invention

Integrated circuits (ICs), optoelectronic devices, micromechanical devices and other precision fabrications are commonly formed using thin films applied to substrates. As part of the fabrication process, it is often necessary to remove or clean a portion or all of the thin film from the substrate. For example, in the manufacture of semiconductor wafers including ICs, a thin photoresist layer may be applied to the semiconductor substrate and subsequently removed.

Contaminants removed from surface features of microelectronic substrates after various manufacturing steps (*e.g.*, after post-ion implant, 'back end of the line' (BEOL) cleans, 'front end of the line' (FEOL) cleans, and post chemical mechanical planarization (CMP) steps) vary in nature and composition dramatically. Accordingly, cleaning and treating steps must address these contaminants with the appropriate chemistries and solvents to either react with, ionize, dissolve, swell, disperse, emulsify, or vaporize them from the substrate. As such, a variety of water and solvent-based systems, and dry cleaning processes have been developed to address the broad variety of waste materials.

Summary of the Invention

According to method embodiments of the present invention, a method for cleaning a microelectronic substrate includes placing the substrate in a pressure chamber. A process fluid including dense phase CO_2 is circulated through the chamber such that the process fluid contacts the substrate. The phase of the CO_2 is

cyclically modulated during at least a portion of the step of circulating the process fluid.

According to further method embodiments of the present invention, a method for cleaning a microelectronic substrate includes placing the substrate in a pressure chamber. A process fluid including dense phase CO_2 is sprayed onto the substrate in a chamber. The phase of the CO_2 is cyclically modulated during at least a portion of the step of spraying the process fluid.

According to further method embodiments of the present invention, a method for cleaning a microelectronic substrate includes providing the substrate in a pressure chamber containing a process fluid including dense phase CO_2 such that the substrate is exposed to the CO_2. The phase of the CO_2 is cyclically modulated by alternating CO_2 mass flow between a supply of CO_2 and the chamber and between the chamber and a low pressure source. The supply of CO_2 is at a higher pressure than the chamber and the low pressure source is at a lower pressure than the chamber.

According to further method embodiments of the present invention, a method for cleaning a microelectronic substrate includes placing the substrate in a pressure chamber. A process fluid including dense phase CO_2 is introduced into the chamber such that the process fluid contacts the substrate to thereby clean the substrate. A portion of the process fluid is removed from the chamber. The portion of the process fluid is re-introduced into the chamber.

According to further method embodiments of the present invention, a method for cleaning a microelectronic substrate includes placing the substrate in a pressure chamber. A process fluid including dense phase CO_2 is introduced into the chamber such that the process fluid contacts the substrate to thereby clean the substrate. A portion of the process fluid is removed from the chamber. The portion of the process fluid removed from the chamber is distilled to separate CO_2 from other components of the process fluid. The separated CO_2 is re-introduced into the chamber.

According to further method embodiments of the present invention, a method for cleaning a microelectronic substrate includes cleaning a substrate in a process chamber using a process fluid including CO_2. The used process fluid is

removed from the process chamber. CO_2 is separated from the used process fluid. The separated CO_2 is reused in the process chamber or a further process chamber.

According to embodiments of the present invention, an apparatus for cleaning a microelectronic substrate includes a pressure chamber and means for circulating a process fluid including dense phase CO_2 through the chamber such that the process fluid contacts the substrate. The apparatus further includes means for modulating the phase of the CO_2 while the process fluid is being circulated.

According to further embodiments of the present invention, an apparatus for cleaning a microelectronic substrate using a process fluid including dense phase CO_2 includes a pressure chamber. A spray member is operative to spray the process fluid onto the substrate in the chamber. The apparatus further includes means for cyclically modulating the phase of the CO_2.

According to embodiments of the present invention, an apparatus for cleaning a microelectronic substrate includes a pressure chamber containing a process fluid including dense phase CO_2. A supply of CO_2 is fluidly connectable to the chamber. The supply of CO_2 is at a higher pressure than the chamber. A low pressure source is fluidly connectable to the chamber. The low pressure source is at a lower pressure than the chamber. Fluid control devices are operable to cyclically modulate the phase of the CO_2 in the chamber by alternating CO_2 mass flow between the supply of CO_2 and the chamber and between the chamber and the low pressure source.

According to embodiments of the present invention, an apparatus for cleaning a microelectronic substrate includes a pressure chamber and a supply of a process fluid including dense phase CO_2 fluidly connected to the chamber. A distilling system includes a still fluidly connected to the chamber and operative to separate CO_2 from the process fluid. The distilling system is operative to re-introduce the separated CO_2 into the chamber or a further chamber.

According to embodiments of the present invention, an apparatus for cleaning a microelectronic substrate includes a process chamber containing a process fluid including CO_2 and means for removing used process fluid from the process chamber. The apparatus further includes means for separating CO_2 from the used process fluid and means for returning the separated CO_2 to the process chamber or a further process chamber for subsequent use.

According to embodiments of the present invention, a process chamber assembly for use with a substrate includes a vessel and a substrate holder. The vessel defines a chamber. The substrate holder has a rotational axis and includes front and rear opposed surfaces. The front surface is adapted to support the substrate. At least one impeller vane extends rearwardly from the rear surface and radially with respect to the rotational axis. The impeller vane is operative to generate a pressure differential tending to hold the substrate to the substrate holder when the substrate holder is rotated about the rotational axis. Preferably, the process chamber assembly includes a plurality of the impeller vanes extending rearwardly from the rear surface and radially with respect to the rotational axis.

According to further embodiments of the present invention, a substrate holder for use with a substrate has a rotational axis and further includes front and rear opposed surfaces. The front surface is adapted to support the substrate. At least one impeller vane extends rearwardly from the rear surface and radially with respect to the rotational axis. The impeller vane is operative to generate a pressure differential tending to hold the substrate to the substrate holder when the substrate holder is rotated about the rotational axis. Preferably, the substrate holder includes a plurality of the impeller vanes extending rearwardly from the rear surface and radially with respect to the rotational axis.

According to method embodiments of the present invention, a method for rotating a substrate holder about a rotational axis includes providing a substrate holder. The substrate holder includes front and rear opposed surfaces. The front surface is adapted to support the substrate. At least one impeller vane extends rearwardly from the rear surface and radially with respect to the rotational axis. The substrate holder is rotated about the rotational axis such that the impeller vane generates a pressure differential tending to hold the substrate to the substrate holder.

According to embodiments of the present invention, a pressure chamber assembly for use with a substrate includes a vessel and a substrate holder assembly. The vessel defines a pressure chamber. The substrate holder assembly includes a substrate holder disposed in the pressure chamber, the substrate holder including a front surface adapted to support the substrate, and a housing defining a secondary chamber. At least one connecting passage provides fluid

communication between the front surface of the substrate holder and the secondary chamber. The connecting passage is adapted to be covered by the substrate when the substrate is mounted on the front surface of the substrate holder. A passive low pressure source is fluidly connected to the secondary chamber.

According to further embodiments of the present invention, a pressure chamber assembly for use with a substrate includes a vessel and a substrate holder assembly. The vessel defines a pressure chamber. The substrate holder assembly includes a substrate holder disposed in the pressure chamber, the substrate holder including a front surface adapted to support the substrate, and a housing defining a secondary chamber. A restrictive passage provides fluid communication between the pressure chamber and the secondary chamber. At least one connecting passage provides fluid communication between the front surface of the substrate holder and the secondary chamber. The connecting passage is adapted to be covered by the substrate when the substrate is mounted on the front surface of the substrate holder. A low pressure source is fluidly connected to the secondary chamber.

According to method embodiments of the present invention, a method for holding a substrate to a substrate holder in a pressure chamber includes providing a first pressure in the pressure chamber. A substrate holder assembly is provided including a substrate holder disposed in the pressure chamber, the substrate holder including a front surface adapted to support the substrate, and a housing defining a secondary chamber. At least one connecting passage provides fluid communication between the front surface of the substrate holder and the secondary chamber. The substrate is mounted on the substrate holder such that the substrate covers the connecting passage. A second pressure is provided in the secondary chamber that is lower than the first pressure using a passive low pressure source.

According to further method embodiments of the present invention, a method for holding a substrate to a substrate holder in a pressure chamber includes providing a first pressure in the pressure chamber. A substrate holder assembly is provided including a substrate holder disposed in the pressure chamber, the substrate holder including a front surface adapted to support the substrate, and a housing defining a secondary chamber. A restrictive passage provides fluid communication between the pressure chamber and the secondary chamber. At least one connecting passage provides fluid communication between the front

surface of the substrate holder and the secondary chamber. The substrate is mounted on the substrate holder such that the substrate covers the connecting passage. A second pressure is provided in the secondary chamber that is lower than the first pressure.

According to embodiments of the present invention, a pressure chamber assembly for retaining a fluid includes first and second relatively separable casings defining an enclosed chamber and a fluid leak path extending from the chamber to an exterior region. An inner seal member is disposed along the leak path to restrict flow of fluid from the chamber to the exterior region. An outer seal member is disposed along the leak path between the inner seal member and the exterior region to restrict flow of fluid from the chamber to the exterior region. The inner seal member is a cup seal.

According to further embodiments of the present invention, a pressure chamber assembly for retaining a fluid includes first and second relatively separable casings defining an enclosed chamber and a fluid leak path extending from the chamber to an exterior region. An inner seal member is disposed along the leak path to restrict flow of fluid from the chamber to the exterior region. An outer seal member is disposed along the leak path between the inner seal member and the exterior region to restrict flow of fluid from the chamber to the exterior region. The inner seal member is a cup seal. The inner seal member is adapted to restrict flow of fluid from the chamber to the exterior region when a pressure in the chamber exceeds a pressure of the exterior region. The outer seal member is adapted to restrict flow of fluid from the exterior region to the chamber when a pressure in the chamber is less than a pressure of the exterior region.

According to embodiments of the present invention, a pressure chamber assembly for processing a substrate includes a pressure vessel defining an enclosed pressure chamber. A substrate holder is disposed in the pressure chamber and is adapted to hold the substrate. A drive assembly is operable to move the substrate holder. The drive assembly includes a first drive member connected to the substrate holder for movement therewith relative to the pressure vessel and a second drive member fluidly isolated from the first drive member and the pressure chamber. A drive unit is operable to move the second drive member. The drive unit is fluidly isolated from the first drive member and the pressure chamber. The

second drive member is non-mechanically coupled to the first drive member such that the drive unit can move the substrate holder via the first and second drive members.

According to further embodiments of the present invention, a pressure chamber assembly for processing a substrate includes a pressure vessel defining an enclosed pressure chamber. A substrate holder is disposed in the pressure chamber and is adapted to hold the substrate. A magnetic drive assembly is operable to move the substrate holder relative to the pressure vessel.

According to further embodiments of the present invention, a pressure chamber assembly for processing a substrate includes a pressure vessel defining an enclosed pressure chamber and an exterior opening in fluid communication with the pressure chamber. A substrate holder is disposed in the pressure chamber and is adapted to hold the substrate. A drive assembly is operable to move the substrate holder relative to the pressure vessel, the drive assembly including a housing covering the exterior opening of the pressure chamber so as to seal the exterior opening.

According to embodiments of the present invention, a pressure chamber assembly includes a pressure vessel and a guard heater assembly. The pressure vessel defines an enclosed chamber. The guard heater assembly includes a guard heater disposed in the chamber and interposed between a surrounding portion of the pressure vessel and a holding volume. The guard heater is adapted to control a temperature of the holding volume. The guard heater is insulated from the surrounding portion of the pressure vessel.

According to some embodiments of the present invention, the guard heater and the surrounding portion of the pressure vessel define an insulating gap therebetween. Preferably, the insulating gap has a width of at least 0.1 mm.

According to some embodiments of the present invention, the guard heater assembly includes a layer of insulating material disposed between the guard heater and the surrounding portion of the pressure vessel. Preferably, the layer of insulating material has a thickness of at least 0.1 mm.

The guard heater assembly may further include a second guard heater disposed in the chamber and interposed between a second surrounding portion of the pressure vessel and the holding volume. The second guard heater is adapted to

control the temperature of the holding volume. The second guard heater is insulated from the second surrounding portion of the pressure vessel.

A fluid spray bar may be mounted in the guard heater. A substrate holder may be disposed in the holding volume.

According to embodiments of the present invention, a process chamber assembly for use with a substrate and a flow of process fluid includes a vessel and a spray member. The vessel defines a chamber. The spray member includes at least one spray port formed therein adapted to distribute the flow of process fluid onto the substrate in the chamber. The spray member is operative to rotate about a rotational axis relative to the vessel responsive to a flow of the process fluid out of the spray member through the at least one spray port.

The spray member may include a distribution portion including a distribution channel therein, the at least one spray port extending from the distribution channel to exteriorly of the spray member.

The at least one spray port may extend at an angle with respect to the rotational axis. Preferably, the at least one spray port extends at an angle of between about 5 and 85 degrees with respect to the rotational axis.

The process chamber assembly may include a plurality of the spray ports formed in the spray member.

A bearing may be interposed between the spray member and the vessel to allow relative rotation between the spray member and the vessel.

According to further embodiments of the present invention, a spray member for distributing a flow of process fluid onto a substrate includes a spray member including at least one spray port formed therein adapted to distribute the flow of process fluid onto the substrate in the chamber. The spray member is operative to rotate about a rotational axis responsive to a flow of the process fluid out of the spray member through the at least one spray port.

The spray member may include a distribution channel therein, the at least one spray port extending from the distribution channel to exteriorly of the spray member.

The at least one spray port may extend at an angle with respect to the rotational axis. Preferably, the at least one spray port extends at an angle of between about 5 and 85 degrees with respect to the rotational axis.

The spray member may include a plurality of the spray ports formed in the spray member.

The spray member may include a bar-shaped distribution portion, the at least one spray port being formed in the distribution portion. Alternatively, the spray member may include a disk-shaped distribution portion, the at least one spray port being formed in the distribution portion.

According to method embodiments of the present invention, a method of applying a process fluid to a substrate includes placing the substrate in a chamber of a vessel. A spray member is provided including at least one spray port formed therein. The process fluid is distributed from the at least one spray port onto the substrate. The spray member is rotated about a rotational axis relative to the vessel by flowing the process fluid out of the spray member through the at least one spray port.

Objects of the present invention will be appreciated by those of ordinary skill in the art from a reading of the figures and the detailed description of the preferred embodiments that follow, such description being merely illustrative of the present invention.

Brief Description of the Drawings

Figure 1 is a block diagram of an apparatus according to embodiments of the present invention;

Figure 2 is a block diagram of a chemistry supply/conditioning system forming a part of the apparatus of **Figure 1**;

Figure 3 is a block diagram of an alternative chemistry supply/conditioning system forming a part of the apparatus of **Figure 1**;

Figure 4 is a block diagram of a further alternative chemistry supply/conditioning system forming a part of the apparatus of **Figure 1**;

Figure 5 is a block diagram of an alternative recirculation system forming a part of the apparatus of **Figure 1**;

Figure 6 is a block diagram of a further alternative recirculation system forming a part of the apparatus of **Figure 1**;

Figure 7 is a block diagram of a supply/recovery system according to embodiments of the present invention;

Figure 8 is a cross-sectional view of a pressure chamber assembly according to embodiments of the present invention in a closed position;

Figure 9 is a cross-sectional view of the pressure chamber assembly of **Figure 8** in an open position;

Figure 10 is a cross-sectional view of an upper guard heater forming a part of the pressure chamber assembly of **Figure 8**;

Figure 11 is a top plan view of the upper guard heater of **Figure 10**;

Figure 12 is a bottom plan view of the guard heater of **Figure 10**;

Figure 13 is a cross-sectional view of a lower guard heater forming a part of the pressure chamber assembly of **Figure 8**;

Figure 14 is a bottom plan view of the lower guard heater of **Figure 13**;

Figure 15 is an enlarged, cross-sectional, fragmentary view of the pressure chamber assembly of **Figure 8**;

Figure 16 is a perspective view of a cup seal forming a part of the pressure chamber assembly of **Figure 8**;

Figure 17 is a fragmentary, perspective view of the cup seal of **Figure 16**;

Figure 18 is a cross-sectional view of a pressure chamber assembly according to further embodiments of the present invention;

Figure 19 is a cross-sectional view of a pressure chamber assembly according to further embodiments of the present invention;

Figure 20 is a top plan view of a chuck forming a part of the pressure chamber assembly of **Figure 19**;

Figure 21 is a bottom plan view of the chuck of **Figure 20**;

Figure 22 is a cross-sectional view of the chuck of **Figure 20** taken along the line **22-22** in **Figure 21**;

Figure 23 is a cross-sectional, schematic view of a pressure chamber assembly according to further embodiments of the present invention;

Figure 24 is a top plan view of a chuck forming a part of the pressure chamber assembly of **Figure 23**;

Figure 25 is a cross-sectional view of the chuck of **Figure 24** taken along the line **25-25** of **Figure 24**;

Figure 26 is a cross-sectional view of a pressure chamber assembly according to further embodiments of the present invention;

Figure 27 is a bottom view of a spray member forming a part of the pressure chamber assembly of **Figure 26**;

Figure 28 is a cross-sectional view of the spray member of **Figure 27** taken along the line **28-28** of **Figure 27**; and

Figure 29 is a bottom plan view of a spray member according to further embodiments of the present invention.

Detailed Description of the Preferred Embodiments

The present invention now is described more fully hereinafter with reference to the accompanying drawings, in which preferred embodiments of the invention are shown. This invention may, however, be embodied in many different forms and should not be construed as limited to the embodiments set forth herein; rather, these embodiments are provided so that this disclosure will be thorough and complete, and will fully convey the scope of the invention to those skilled in the art.

The present invention relates generally to, *inter alia*, the cleaning or treating of microelectronic substrates (such as semiconductor substrates) during or subsequent to the manufacturing of integrated circuits, microelectronic devices, MEM's, MEOM's and opto-electronic devices. Removal of surface contaminants and particulates is a key step in the integrated circuit fabrication process. There are numerous cleaning steps (commonly referred to as "cleans") in the fabrication process. The different types of cleans include pre-diffusion cleans, front end of the line post-ash cleans, back end of the line post-etch cleans, pre-metal deposition cleans, front end of the line plasma strip, back end of the line clean/strip, post-ion implantation cleans and post-chemical mechanical planarization (CMP) cleans. There are many types and sources of particulates and contaminants in the fabrication process. The particles and contaminants may be molecular, ionic, atomic or gaseous in nature. The source may be inherent (*e.g.*, redeposition of resist) or extrinsic to the process (*e.g.*, wafer transport).

The shift of interconnect systems shift from Al/SiO_2 to Cu/low-k presents new challenges that may be effectively addressed using the methods and apparatus of the present invention. For example, a primary problem with the transition to Cu is the tendency of Cu to corrode when exposed to an oxidizing environment,

because Cu does not have the self-passivating properties of Al. Corrosion of Cu during cleans of dual damascene structures can result in high contact resistance, undercutting and lift-off of the dielectric layers, thereby reducing circuit yields. Additional concerns have focused on the chemical compatibility of traditional cleans with low-k materials. As an example, it has been demonstrated that amine chemistries gas from OSG and other inorganic spin-on dielectric films, causes via poisoning. Aspects of the present invention may address the currently challenging cleans of these new interconnect systems.

With reference to **Figure 1**, an apparatus **10** according to preferred embodiments of the present invention is shown therein. As illustrated, the apparatus **10** is adapted to clean a surface of a wafer substrate **5**. However, it will be appreciated by those of skill in the art from the description herein that various features and aspects of the apparatus and the methods described hereinbelow may be used for cleaning or otherwise treating wafers or other types of substrates or workpieces. Additionally, it will be appreciated by those of skill in the art from the description herein that various components and steps as described herein below may be omitted or replaced with other (for example, conventional) components or steps as appropriate.

The wafer **5** may be, for example, a wafer of semiconductor material such as silicon, silicon oxide, gallium arsenide, etc. The wafer **5** has a substantially planar work surface **5A** and an opposing substantially planar backside surface **5B**. A continuous or discontinuous layer of waste material is disposed on the work surface **5A**. The waste layer may be a layer of photoresist, reactive ion etch residue, chemical mechanical polishing residue or post-ion implantation residue. The waste material in the aforementioned layers may include inorganic or organic contaminants such as polymers based on stryenic, acrylic, novolac, cyclic olefinic maleic anhydride resins; etch residue based on ions of fluorine, chlorine, bromine or iodine; and slurry residue containing silica or alumina abrasives with other common slurry additives such as oxidizers, buffers, stabilizers, surfactants, passivating agents, complexing agents, corrosion inhibitors or other agents. Other types of workpieces may be cleaned or otherwise treated using the apparatus including, for example, MEMS, MEOMS, opto-electronic devices, and 3-D micro/nano-structures.

The apparatus **10** includes generally a flow/pressure control system **100**, a recirculation system **200**, a supply/recovery system **300**, a pressure chamber assembly **400**, and a substrate handling system **500** (**Figure 8**). The pressure chamber assembly **400** includes a pressure chamber **410**. As discussed in greater detail below, the wafer **5** is held in the pressure chamber **410** for processing. The flow/pressure control system **100** conditions and applies a chemistry or chemistries (also referred to as adjuncts or modifiers), CO_2 (in the form of liquid, gas, and/or supercritical fluid ($ScCO_2$)), and/or a mixture of chemistries and CO_2 to the working surface **5A** of the wafer **5**. The substrate handling system **500** holds the wafer **5** and, optionally, moves the wafer **5** to facilitate uniform cleaning. The recirculation system **200** may be used to filter and return process fluid to the pressure chamber **410**. The supply/recovery system **300** supplies the process fluids and may be employed to clean post-process effluent and, optionally, return a portion thereof (typically, recovered CO_2) for further use in the apparatus **10**.

Turning to the flow/pressure control system **100** in greater detail, the system **100** includes a tank **T1** containing CO_2 at high pressure. The pressure of the CO_2 in the tank **T1** is preferably between about 400 psi and 4000 psi, depending on the process(es) to be executed using the apparatus **10**. The volume of the tank **T1** is preferably at least 5 times the volume of the pressure chamber **410**. A temperature control device may be operatively connected to the tank **T1**. The temperature control device may be, for example, a temperature sensor and a heating coil or probe or heat exchanger. The temperature of the CO_2 in the tank **T1** is preferably between about 0 °C and 90 °C, depending on the processes to be executed using the apparatus **10**. The CO_2 may be in liquid, gas or supercritical phase.

A plurality of outlet lines **L3**, **L4** and **L5** are fluidly connected to the tank **T1**. In the event that it may be desired to supply liquid CO_2 from the tank **T1**, the lines **L3**, **L4** and **L5** preferably draw from a lower portion of the tank **T1** (*e.g.*, via a lower outlet or a dip tube). The outlet lines **L3**, **L4** and **L5** fluidly connect the tank **T1** to a chemistry supply/conditioning system **120** (schematically illustrated in **Figure 1** and described in greater detail below), a feed line **L1**, and a feed line **L2**. Valves **V1**, **V2** and **V3** are provided to control flow in the lines **L3**, **L4** and **L5**, respectively.

A plurality of chemistry supplies **S1**, **S2**, **S3** are fluidly connected to the system **120**. Each supply **S1**, **S2**, **S3** may include a single chemistry or multiple compatible chemistries that are combined at or upstream of the respective supply **S1**, **S2**, **S3**. The supplies may include the respective chemistries disposed in suitable containers. Where feasible, the containers are preferably at atmospheric pressure to allow for convenient refilling.

The chemistries provided by the supplies **S1**, **S2**, **S3** may include, for example: water; oxidizers such as peroxides or permanganates; acids such as hydrofluoric, sulfuric, and nitric; bases such as secondary and tertiary amines; ammonium hydroxide; solvents such as organic carbonates, lactones, ketones, ethers, alcohols, sulfoxides, thiols, and alkanes; surfactants such as block copolymers or random copolymers composed of fluorinated segments and hydrophilic or lipophilic segments; surfactants with siloxane-based components and hydrophilic or lipophilic components; conventional ionic and non-ionic hydrocarbon-based surfactants; and salts such as ammonium fluoride and choline. Incompatible chemistries are chemistries which, when combined or exposed to one another, tend to react with one another in a manner that impedes the process and/or damages or unduly fouls the apparatus **10** or wafer **5**. Examples of incompatible chemistries include acids and bases.

Level sensors may be provided in each of the supplies **S1**, **S2**, **S3** to indicate that a refill is needed and/or to provide a metric of chemistry use in the process. Means such as a heating coil or jacket may be provided to control the temperatures of the supplies. A mixing device may be provided in each supply **S1**, **S2**, **S3**.

As discussed in more detail below, the system **120** is operable to provide one or more controlled volumes of chemistry (with or without CO_2), which volumes may be conditioned by the system **120**. The feed lines **L1** and **L2** are each fluidly connected to the system **120** to receive the volume or volumes of the chemistries. The feed line **L1** is fluidly connected to a nozzle **191** in fluid communication with the pressure chamber **410**. The feed line **L2** is fluidly connected to a spray member **190** in the pressure chamber **410**. Filters **F1** and **F2** are provided in the feed lines **L1** and **L2**, respectively. Preferably and as

illustrated, the filters **F1**, **F2** are located downstream of all lines that feed into the feed lines **L1**, **L2**.

A vacuum line **L16** is fluidly connected to the pressure chamber **410**. A vacuum unit **P1** is operable to draw a full or partial vacuum in the pressure chamber **410** through the line **L16**. The vacuum unit **P1** may be a pump or one or more tanks that are maintained at or near vacuum at all times by a continuously operating vacuum pump. A vacuum tank may be advantageous in that the pressure chamber **410** may be evacuated more rapidly and the tank may be re-evacuated while wafer processing is occurring. If multiple vacuum tanks are used, they may be staged in their operation to generate greater vacuum in the pressure chamber **410** in less time.

The vacuum unit **P1** may be advantageous for managing the air (or ambient gas) introduced to the system. In each batch step, the pressure chamber **410** may be opened and closed to insert and/or remove a substrate. During the time when the pressure chamber **410** is open, the chamber may fill with ambient gas (typically, air). Active control and management using the vacuum unit **P1** may be used to prevent this insertion of ambient gas from building up over time in the process fluids (assuming some level of recycling of the process fluids is accomplished).

A circulation line **L6** fluidly connects the pressure chamber **410** and the system **120**. Preferably, the line **L6** draws from a lower portion of the pressure chamber **410**.

A secondary gas supply tank **T2** is fluidly connected to the pressure chamber **410** with a controllable valve **V15** provided therebetween. Preferably, the secondary gas has a higher saturated vapor pressure than CO_2. Preferably, the secondary gas is an inert gas. More preferably, the secondary gas is helium, nitrogen or argon.

Pulsing feature

A variable volume device or pulse generator **102** may be fluidly connected to the pressure chamber **410**. The pulse generator **102** includes a chamber **102B** and a pressurizing member **102A** movable in the chamber **102B**. The pulse generator **102** is operable to generate a rapid decrease and/or increase (*i.e.*, pulse)

in pressure in the pressure chamber **410**. Preferably, the swept volume of the pressurizing member **102A** is between about 0.1 and 5 times the volume of the pressure chamber **410**. Preferably, the pulse generator **102** is adapted to provide pressure pulsing cycles at a rate of between about 1 cycle/10 seconds and 50 cycles/second. Preferably, the pulse generator **102** is adapted to decrease and/or increase the pressure in the pressure chamber **410** by at least 100 psi, and more preferably by between about 300 psi and 1500 psi.

The pulse mechanism may be any suitable mechanism including, for example, a piston coupled to a linear actuator, a rotating shaft and a connecting rod, a magnetic piston movable by means of an external electric coil, and/or an electrically, pneumatically or hydraulically driven piston or diaphragm. In a hydraulic or pneumatic system, the pulse mechanism may be paired with valving to quickly admit and release pressure to the non-process side of the diaphragm thereby displacing the piston or diaphragm. In one embodiment, the high pressure tank **T1** and a low pressure vessel such as **T2** may be fluidly connected to provide motive force for the pulse mechanism (piston or diaphragm).

Suitable valving (not shown) may be added such that the pulse chamber **102B** is filled from one pathway, a valve in this pathway may be closed and the fluid may thereafter be driven back to the pressure chamber **410** through a second pathway including a filter. The second pathway may feed the returning fluid to the pressure chamber **410** through the spray member **190**. The multiple pathways may serve to prevent the reintroduction of contaminants just removed from the wafer or particles generated in the pulse chamber, if a piston is used.

While the pulse generator **102** is illustrated as connected to a bottom portion the pressure chamber **410**, the pulse generator **102** may draw from any height of the pressure chamber **410**. In particular, it may be desirable to configure the pulse generator **102** to draw from an upper portion when used to facilitate processes utilizing two-phase (liquid/gas) process fluids in the pressure chamber **410** or to affect fluid and particulate flow in the vicinity of the wafer. It may be advantageous to move fluid rapidly away from the substrate surface (vertically), rather than move it across (parallel to) the wafer's surface as a bottom nozzle would. A relatively large pulse chamber may be used to enable particle dislodgement from the wafer surface and also enable particle transport well away

from the wafer, to prevent redeposition. A relatively large pulse chamber may also be used to enable phase changes through two phases – such as from supercritical to liquid to gas.

An outlet line **L10** and a valve **V6** are provided to selectively vent the pressure chamber **410** to a lower pressure region, such as to a low pressure tank **T2** as discussed below, a fluid transfer device (*e.g.*, a pump), or atmosphere. Waste effluent from the pressure chamber **410** may be drawn off to the low pressure region.

In addition to allowing removal of waste from the pressure chamber **410**, the line **L10** and the valve **V6** may be used in tandem with the high-pressure tank **T1** to generate pressure pulses in the pressure chamber **410**. This may be accomplished by raising the pressure in the pressure chamber **410** using the tank **T1** (*i.e.*, by controlling one or more of the valves **V1**, **V2**, **V3** and/or other valves to provide an open path between the tank **T1** and the pressure chamber **410**), closing the valve **V6**, and then rapidly dropping the pressure in the pressure chamber **410** by opening the valve **V6**. The waste effluent may go to a low pressure tank, for example, such as the tank **T2**. This sequence may be repeated as needed.

Chemistry Supply/Conditioning System

The chemistry supply/conditioning system **120** is operable to provide a selected flow or amount of chemical adjuncts from the supplies **S1**, **S2**, **S3** (more or fewer supplies may be used) to the pressure chamber **410**. Moreover, the system **120** may be operable to selectively control the pressure, temperatures and flow rates of chemistries or chemistry/CO_2. In accordance with the present invention, certain alternative configurations may be employed for the system **120** as described hereinbelow. It will be appreciated from the description herein that various aspects and features of the disclosed embodiments may be omitted or combined with or substituted for other aspects and features of the embodiments.

With reference to **Figure 2**, a chemistry supply/conditioning system **120A** is schematically illustrated along with certain relevant portions of the apparatus **10**. A fluid transfer device **P3** selectively draws or permits gravity flow of chemistry fluid ("first flow") from the supply **S1** to a reservoir **R1** at substantially ambient

pressure. A level measuring device **122** measures the volume of the fluid in the reservoir and thereby the volume of the chemistry to be delivered to the pressure chamber **410**. The fluid transfer device **P3** may also serve to determine the volume of the fluid in the reservoir **R1** by metering the flow through the device **P3**. The chemical adjunct in the reservoir may thereafter drain under force of gravity through a conditioning unit **C1** (as discussed below), the filter **F1**, and the line **L1** into the pressure chamber **410**.

Alternatively, CO_2 (*e.g.*, supercritical CO_2 ($ScCO_2$), liquid CO_2, or compressed liquid CO_2 or gaseous CO_2) from the tank **T1** may be delivered to the reservoir **R1** through a line **L3A** by operation of a valve **V1A**. A pressurized mixture of the adjunct and CO_2 is thereby delivered to the pressure chamber **410** through the unit **C1**, the filter **F1**, and the line **L1**.

With further reference to **Figure 2**, the system **120A** is adapted to deliver a second flow of chemistry-containing process fluid to the pressure chamber **410**, the second flow including chemistry from the supply **S2** which is not compatible with the supply **S1**. The system **120A** provides a flow path for the second flow that is separate from that used for the first flow. The second flow path includes elements **P4**, **R2**, **122**, and **C2** corresponding generally to elements **P3**, **R1**, **122**, and **C1**.

In the same manner as discussed above, the second flow may be a chemistry only stream (*i.e.*, no CO_2) that is transferred to reservoir **R2** via **P4** and then through the conditioning unit **C2**, the filter **F2**, and the line **L2** to the pressure chamber **410**. Alternatively, CO_2 from the tank **T1** may be introduced into the reservoir **R2** through a line **L3B** by operation of a valve **V1B** such that the adjunct/CO_2 is delivered to the pressure chamber **410** under pressure.

Figure 2 further illustrates the use of the circulation line **L6** to return process fluid from the pressure chamber **410** to the reservoir **R2** by using **P4** or a pressure differential. The returned fluid may be remixed with the second flow for reuse in the process. A further filter (not shown) may be provided in the line **L6**.

With reference to **Figure 3**, a chemistry supply/conditioning system **120B** according to further embodiments of the present invention is shown therein. The system **120B** is particularly well-suited for delivering gaseous chemistries. The system **120B** corresponds to the system **120A** except that the reservoirs **R1**, **R2** are omitted and high pressure CO_2 is made directly available to the conditioning units

C1, C2 via lines L3A, L3B and valves V1A and V1B. By operation of the fluid transfer device P3 (or P4), the system 120B may inject the adjunct S1 (or S2) through the conditioning unit C1 (or C2) and the filter F1 (or F2) and into the pressure chamber 410. Alternatively, high pressure CO_2 may be added to and mixed with the chemistry S1 or S2 in the respective conditioning unit C1, C2. In this case, the volume of the chemistry delivered to the pressure chamber 410 may be measured by metering the flow of the chemistry through the fluid transfer device P3 (or P4) or by measuring the volume change in the supply vessels S1 or S2. The flow rate(s) of chemistries and/or CO_2 to the conditioning units C1 and C2 may also be controlled to achieve a desired ratio of CO_2 to chemistry in the stream being delivered to chamber 410.

With reference to **Figure 4**, a chemistry supply/conditioning system 120C according to further embodiments of the present invention is shown therein. The system 120C includes a fluid transfer device P5 operable to selectively draw alternatingly from each of the supplies S1 and S2 as well as the supply of high pressure CO_2 from the tank T1 (via line L3A and valve V1A). The device P5 forces the selected chemistry through a conditioning unit C3 and one or both of the filters F1 and F2 (depending on the operation of valves V9 and V10) so that the fluid is ultimately injected into the pressure chamber 410 under pressure. Optionally, CO_2 from the tank T1 may be added to the selected chemistry by introducing the CO_2 into the conditioning unit C3 using the line L3B and the valve V1B. In order to prevent mixing of the incompatible chemistries S1, S2, CO_2 (preferably, pure $ScCO_2$) from the tank T1 is introduced through the line L3A to flush the fluid transfer device P5 and the remainder of the flow path to the pressure chamber 410 shared by the two chemistry flows.

Recirculation System

The recirculation system 200 includes an outlet line L7 fluidly connected to a lower portion of the pressure chamber 410. Lines L8 and L9 are in turn fluidly connected to the line L7 and also to the feed lines L1 and L2, respectively, upstream of the filters F1 and F2. A fluid transfer device P2 is operable to draw fluid from the pressure chamber 410 and force the fluid through the lines L8 and L9 and ultimately back into the pressure chamber 410. The recirculated fluid flow

may be combined with other fluid flow in the lines **L1** and **L2** (*e.g.*, from the system **120** and/or from the lines **L3** or **L4**). Valves **V4** and **V5** are provided in the lines **L8** and **L9**.

The recirculation system **200** may serve to provide additional fluid mechanical action to the wafer surface without requiring additional removal of CO_2 and/or chemistry and introduction of new CO_2 and/or chemistry. Moreover, the recirculation system **200** may serve to continuously clean (*e.g.*, filter, distill, or separate components through density modulation) the process fluid during the cleaning process.

An alternative recirculation system **200A** according to the present invention is shown in **Figure 5**. The system **200A** includes an outlet line **L14**. Return lines **L15** and **L16** fluidly connect the line **L14** to a recirculation nozzle **193** and the spray member **190**, respectively, in the pressure chamber **410**. A fluid transfer device **P6** is operable to force fluid from the pressure chamber **410** through a filter **F3** and back into the pressure chamber **410** through the nozzle **193** and/or the spray member **190**. Valves **V7** and **V8** are provided to enable alternating delivery of fluid to the spray member or recirculation nozzle and to prevent unintended back flow through the nozzle **193**.

A further alternative recirculation system **200B** according to the present invention is shown in **Figure 6**. The system **200B** includes an outlet line **L30** fluidly connecting the pressure chamber **410** to a still **243** (having a heating element **245**) through a transfer system **242**. The transfer system **242** converts the waste stream from the pressure chamber **410** from its starting state (*e.g.*, liquid, compressed liquid, or supercritical fluid) to a liquid. Preferably, the transfer system **242** is also adapted to prevent backflow of fluids from the still **243** to the pressure chamber **410**. For this purpose, the transfer system **242** may include one or more shut-off valves and/or one-way/check valves.

If the waste stream from the pressure chamber **410** is a liquid, the transfer system **242** may not change the fluid or may merely change the temperature of the fluid (*e.g.*, using a heater or chiller). If the waste stream from the pressure chamber **410** is a compressed liquid, the transfer system may provide a pressure let down (*e.g.*, by means of a torturous path, an orifice, or control valve). The transfer system **242** may also include a temperature-altering element. If the waste stream

from the pressure chamber **410** is a supercritical fluid, there is preferably a pressure let-down as discussed above as well as a temperature-altering step. In this case, it may be necessary or desirable to cool the fluid to cross into the 2-phase Liquid/Gas region of the phase diagram.

Once in the liquid state, the fluid is boiled/distilled in the still **243** to separate the fluid into two components: a lighter component, which will be predominantly CO_2 gas, and a heavier component which will be predominantly adjunct chemistry and entrained contaminants. The heavier component may be conveyed (*e.g.*, by gravity) to a recycling/disposal system **244**.

The CO_2 gas (lighter) stream is directed to a heat exchanger **246** via a line **L31** where the CO_2 gas stream is converted (through manipulation of temperature and pressure) to the conditions of the processing fluid (*i.e.*, liquid, compressed liquid or supercritical fluid). If the fluid starting condition was liquid, the exchanger may include a heat transfer coil **247** connected to the heating device so as to transfer heat from the condensing fluid to the still **243**. The CO_2 may be additionally cleaned through filtration, adsorption, absorption, membrane separation, physical separation (*e.g.*, centrifugal force) or electrostatic separation. The conditioned CO_2 may then be provided back to additionally process the substrate or to process a subsequent substrate. Additional chemistries may be added to this incoming fluid (*e.g.*, at a mixing reservoir **248**).

The distilling recirculation system **200B** may be used to provide a continuous or intermittent flow of the process fluid through the pressure chamber **410**. The mass flow may serve to assist in the cleaning process by transporting particulates away from the wafer **5** (*e.g.*, to prevent redeposit on the wafer) and/or providing mechanical action (agitation) on the wafer surface. The mass flow may be filtered or otherwise conditioned. The mass flow may be fully driven by the addition of heat in the still **243** so that no pumps or other potentially particulate-generating mechanical devices are required. Multiple transfer systems **242**, stills **243**, heat exchangers **246** may be used to provide increased continuous flow.

Each of the recirculation systems **200**, **200A**, **200B** may be employed to provide mass flow through the chamber **410** without loss of process fluid mass from the process loop (except the relatively small quantities of adjuncts and particulates that are filtered or distilled out of the process fluid stream. Moreover,

each of the recirculation systems **200**, **200A** may be employed to provide mass flow through the chamber **410** without altering the chemical composition of the process fluid.

As depicted in **Figures 1-5**, the filters **F1**, **F2** as well as the filter **F3** are preferably adapted to provide filtration of at least particles in the range of 10 nm (as in nanometers) to 50 microns. Suitable filters may include sintered filters, bag-type filters, magnetic filters, electrostatic filters, and/or combinations thereof. Preferably, as in the illustrated embodiments, every fluid stream pathway into the pressure chamber **410** has a filter as its final element before the pressure chamber **410**. In particular, all valves and fluid transfer devices for delivering fluid to the pressure chamber **410** are disposed upstream of at least one filter.

The conditioning units **C1**, **C2**, **C3** may include means for mixing the chemistries of the adjunct or for mixing the adjunct and CO_2 (when present) to promote homogeneity and solvation of adjuncts. The conditioning units may also include means for controlling the temperature of the adjunct or adjunct/CO_2. Suitable mixing devices or processes include mechanical mixers and flow mixing. Temperature control may be achieved using probes, internal coils, elements, and/or an external jacket, for example. An electrical heater or a fluid heat exchanger may be used, for example.

The fluid transfer devices **P3**, **P4**, **P5** are preferably capable of accurately and consistently metering a flow of fluid. Suitable devices may include diaphragm pumps, syringe pumps, or piston pumps, for example.

While particular arrangements have been illustrated and described herein, it will be apparent to those of skill in the art that various modifications may be made in keeping with the present invention. For example, in the system **120A** (**Figure 2**), the circulation line **L6** may feed to the fluid transfer device **P3** such that the flow from the line **L6** is directed to the line **L1**. Valving (not shown) may be provided to allow selection of the feed line (*i.e.*, **L1** or **L2**) for each flow path, so that the chemistry (with or without CO_2) from the supply **S1**, for example, can be directed to either or both of the spray member **190** and the nozzle **191**, as desired. The apparatus **10** may include one or more chemistry supply paths that include an in-line reservoir (*i.e.*, as in the system **120A**) and/or one or more parallel chemistry supply paths that are direct injection (*i.e.*, as in the system **120B**) and/or one or

more parallel chemistry supply paths that serve alternative supplies (*i.e.*, as in the system **120C**). Additional filters, fluid transfer devices, reservoirs, conditioning units and valving may be provided as needed to provide additional flexibility.

Cleaning/Pulsing Process

The apparatus **10** may be used to execute a wide range of processes wherein the wafer **5** in the pressure chamber **410** is subjected to fluid streams, pools and atmospheres, including chemical adjuncts, CO_2 and mixtures thereof, in various states (*e.g.*, liquid, gas, supercritical fluid). Such processes may serve to clean or otherwise treat (*e.g.*, coat) the wafer surface **5A**. For example, the apparatus **10** may be used to conduct methods as disclosed in the following commonly owned U.S. Patent Applications, the disclosures of which are hereby incorporated herein by reference in their entireties:

1. U.S. Patent Application Serial No. _____; inventors James P. DeYoung, James B. McClain, Michael E. Cole, and David E. Brainard; filed September 13, 2001; and titled *Methods for Cleaning Microelectronic Structures with Cyclical Phase Modulation* (Attorney Docket No. 5697-45IP);
2. U.S. Patent Application Serial No. _____; inventors James P. DeYoung, James B. McClain, Stephen M. Gross, and Joseph M. DeSimone; filed September 13, 2001; and titled *Methods for Cleaning Microelectronic Structures with Aqueous Carbon Dioxide Systems* (Attorney Docket No. 5697-45IP2);
3. U.S. Patent Application Serial No. _____; inventors James P. DeYoung, James B. McClain, and Stephen M. Gross; filed September 13, 2001; and titled *Methods for Removing Particles from Microelectronic Structures* (Attorney Docket No. 45IP3);
4. U.S. Patent Application Serial No. _____; inventor(s) James P. DeYoung, James B. McClain, and Stephen M. Gross; filed September 13, 2001; and titled *Methods for the Control of Contaminants Following Carbon Dioxide Cleaning of Microelectronic Structures* (Attorney Docket No. 5697-45IP4);

The following are exemplary processes that may be practiced in accordance with the present invention. Preferably, the valving, fluid transfer devices, and sensors are operatively connected to a computerized controller to provide feedback and control as needed to conduct the desired process steps.

The wafer **5** is inserted into the pressure chamber **410** and secured to the chuck **510** by any suitable means such as adhesive or clamps. More preferably, the wafer **5** is secured to the chuck in one of the manners described below with regard to the wafer holding assemblies **520** (**Figure 19**) and **550** (**Figure 23**). The door of the pressure chamber is thereafter closed and sealed.

Air and any other gases in the pressure chamber **410** are evacuated from the pressure chamber **410** through the line **L16** using the vacuum unit **P1**.

Optionally, chemistry from one or more of the supplies **S1**, **S2**, **S3** may be applied to the wafer using the chemistry supply/conditioning system **120** prior to pressurizing the pressure chamber **410**.

The pressure chamber **410** is thereafter pressurized with CO_2 (preferably liquid CO_2 or $ScCO_2$) from the high-pressure tank **T1**. Preferably, the pressure chamber **410** is pressurized to a pressure of at least 400 psi, and more preferably, between about 800 psi and 3000 psi. Additionally, the atmosphere in the pressure chamber **410** is maintained at a selected temperature (preferably between about 10°C and 80°C), for example, using a guard heater as discussed below.

Once the pressure chamber **410** is pressurized to the selected pressure, dense-phase CO_2 is circulated through the line **L2** to the spray member **190** and/or the nozzle **191**. The spray member directs the dense-phase CO_2 onto the wafer surface **5A**. Optionally, chemistry, with or without liquid or supercritical CO_2 mixed therewith, from one or more of the supplies **S1**, **S2**, **S3** may be applied to the wafer using the chemistry supply/conditioning system **120**.

The pulse generator **102** and/or the high-pressure tank **T1** and the valve **V6** are then used to effectuate cyclical phase modulation (CPM). More particularly, the pulse generator **102** and/or the high-pressure tank **T1** and the valve **V6** are operated (with appropriate temperature control of the process fluid) to effect phase changes between liquid, supercritical, and gas states. Preferably, the phase changes are effected between supercritical and liquid states in a cyclical fashion. For example, CPM processes as disclosed in the commonly owned U.S. Patent

Application Serial No. _____; inventors James P. DeYoung, James B. McClain, Michael E. Cole, and David E. Brainard; filed September 13, 2001; and titled *Methods for Cleaning Microelectronic Structures with Cyclical Phase Modulation* (Attorney Docket No. 5697-45IP), the disclosure of which is hereby incorporated herein by reference in its entirety, may be conducted.

During the CPM cycles, CO_2 or CO_2 with chemistry may be applied to the wafer **5** via the spray member **190**. Fluid and particulate matter from the pressure chamber **410** may be removed from the pressure chamber **410** and recirculated locally via the recirculation system **200** or **200A** and/or recirculated via the line **L6** and the system **120**.

The process fluid (dense-phase CO_2, adjuncts and waste matter) is removed from the pressure chamber **410** via the line **L10**. As discussed below, CO_2 may be withdrawn from the pressure chamber **410** to a recovery tank. The process pathways (including the pressure chamber **410**) may be flushed one or more times with pure liquid or supercritical CO_2 from the tank **T1**.

The foregoing steps of optionally applying one or more of the chemistries **S1**, **S2**, **S3** to the wafer (with or without $ScCO_2$), conducting CPM and removing the process fluid may be repeated as needed. Following the final CPM cycle, the process fluid is removed and optionally a rinsing fluid (*e.g.*, a co-solvent or surfactant) is dispensed from the supplies **S1**, **S2**, **S3** onto the wafer **5** (preferably under pressure from the spray member **190**).

The pressure chamber **410** and the process pathways (including the recirculation pathway) are thereafter flushed with $ScCO_2$ from the tank **T1** to remove adjuncts and remaining residues. If no rinse fluid is used, a pure CO_2 (liquid or supercritical) fluid is used to remove adjuncts and remaining contaminants from the substrate. The flushing dense-phase CO_2 may be recirculated, but is finally removed via the line **L10**. A final rinse of the wafer **5** and the pressure chamber **410** is preferably conducted using pure liquid or supercritical CO_2.

Thereafter, the pressure chamber **410** is depressurized and the wafer **5** is removed.

Preferably, the apparatus **10** is operable to apply the process fluid from the spray member **190** onto the wafer surface at a pressure of at least 400 psi, and more

preferably between about 800 psi and 3000 psi. The process may include applying the process fluid to wafer using the spray member **190** with the spray member **190** rotating relative to the wafer. Either or both the spray member (*e.g.*, the spray member **190** or the spray member **602**) and the chuck (*e.g.*, the chuck **510**, **522**, or **552**) may be rotationally driven.

Moreover, a flow of process fluid may be provided across the wafer **5** by feeding the process fluid into the chamber **410** via a feed nozzle (*e.g.*, the nozzle **191**) and simultaneously removing process fluid through one or more of the outlet lines (*e.g.*, the line **L7**, the line **L10**, the line **L11**, and/or the line **L6**). Preferably, the apparatus **10** is operable to provide such a flow through the chamber **410** at a rate of at least 2 gpm.

As noted above, the process may include simultaneously pulsing the density of the CO_2 containing process fluid and spraying the process fluid onto the wafer **5**. Likewise, if the phase modulation is accomplished using the pulse generator **102**, a flow of the process fluid through the chamber **410** may be provided at the same time as the density modulation. The wafer **5** and/or the spray member **190** may be simultaneously rotated.

In each of the foregoing steps involving the application of chemistries, the chemistries may be any suitable chemistries. In particular, it is contemplated that the chemistries may include co-solvents, surfactants, reactants, chelants, and combinations thereof. Notably, the separate flow paths and/or flushing means of the chemistry supply system **120** may be used to safely and effectively add incompatible chemistries to the chamber **410**.

The apparatus may deliver process components in different states (*e.g.*, liquid, gas, supercritical) to the chamber **410** and may allow for components in different states to coexist in the chamber **410**. The apparatus may provide heated CO_2 gas (*e.g.*, from the tank **T1**) to drain or flush process components from the cleaning chamber for cleaning steps using liquid CO_2. Alternatively, the apparatus may deliver a secondary gas such as helium, nitrogen or argon from the secondary gas tank **T3** to displace process fluids during a cleaning step and preceding a rinse step when either liquid or supercritical CO_2 is used as the primary process fluid during the cleaning step. The apparatus may also provide heated $ScCO_2$ (*e.g.*, supercritical CO_2) at a temperature higher than that of the primary processing fluid

but at a density lower than that of the primary processing fluids used to displace processing fluids after a cleaning step, but prior to a rinse step for cleaning steps using $ScCO_2$.

Supply/recovery system

The supply/recovery system **300** is adapted to supply and/or recycle and re-supply CO_2 and/or chemistry to the cleaning process. As the process proceeds, some CO_2 will be lost. The process may include batch cycles where the pressure chamber **410** is pressurized and depressurized many times in succession as the substrates (*e.g.*, wafers are moved through the CO_2-based processing equipment). For example, some CO_2 will be lost to atmosphere when the pressure chamber is opened to remove and replace wafers. Some CO_2 will be lost from the system in the waste stream that is drained from the system. Substantial amounts of the CO_2 will be contaminated or otherwise rendered unsuitable or potentially unsuitable for further recirculation through the process loop. For these reasons, it is necessary to provide sources of additional CO_2 to replenish the CO_2 lost from the process. Additionally, it may be desirable to recycle CO_2 as well as chemistry for reuse in the apparatus **10** or elsewhere.

Stock CO2 supply

With reference to **Figure 7**, the supply/recovery system **300** includes a CO_2 stock supply **312**. The supply **312** may be, for example, CO_2 supplied in one or more liquid cylinders, carboys of sub-ambient liquid, or bulk supply systems of sub-ambient liquid. The storage method preferably allows for supply of either liquid or gaseous CO_2.

The supply **312** is fluidly connected to the process chamber **410** via a line **L17**, which is provided with a valve **V11** to control the flow into the pressure chamber **410**. Preferably, the system **300** is adapted such that the CO_2 from the supply can be delivered directly (*i.e.*, without aid of any fluid transfers devices, pressurizing tanks, or the like) into the pressure chamber **410** at a desired pressure (preferably between about 15 and 50 psig). The supply **312** may be from a gas or liquid source.

CO_2 as commonly distributed for industrial and commercial uses (*e.g.*, food processing such as carbonation of beverages and freeze-drying, pH control, or dry ice) is not sufficiently clean for processing of micro-electronic substrates. Commonly, such CO_2 supplies include contaminants such as organic materials, other gases, water and particulate matter. Accordingly, the system **300** may include a purification unit **D1** between the supply **312** and the pressure chamber **410**. The purification unit **D1** is operative to purify the CO_2 supply to the requisite ultra-high cleanliness and purity. In this manner, the purification unit **D1** enables the effective use of food grade or industrial grade CO_2, thereby allowing the use of existing supply chains and distribution chains for CO_2.

The purification unit **D1** may include one or more of the following means for filtering gas or liquid CO_2:

1. Distillation: The CO_2 may be drawn from a gaseous supply or a gaseous portion of the supply. Liquid CO_2 may be drawn, boiled, relocated to a collection volume and re-condensed;
2. Filtration;
3. Membrane separation (preferably paired with distillation); and
4. Absorption/adsorption (*e.g.*, capture based on attractive forces or molecule size).

CO_2 may also be delivered to the process (and, more particularly, to the pressure chamber **410**) by introducing additional CO_2 into the vapor-saver unit **320** discussed below. Preferably, this additional CO_2 is first purified using a purification unit corresponding to the purification unit **D1**.

Waste stream handling

As noted above in the discussion regarding the process, at various times (including, typically, at the end of each run), processing fluid may be removed from the pressure chamber **410** via the line **L10**. Such fluids may include liquid, gaseous, or supercritical CO_2, chemistry, and various contaminants (*e.g.*, particles dislodged from the wafer(s)).

The system **300** includes a low-pressure tank **T2** to receive the waste stream drawn removed from the pressure chamber **410**. The tank **T2** is preferably

maintained at a pressure of between about ambient and 3000 psi. The volume of the tank **T2** is preferably at least 5 times the volume of the pressure chamber **410**.

Different compositions may be expelled to the tank **T2**, in which case the tank **T2** is a segmented tank or multiple tanks. The pressure in the tank **T2** is less than that of a pressure head upstream of and fluidly communicating with the pressure chamber **410** so that the pressure differential forces the waste stream into the tank **T2** from the pressure chamber **410**. Preferably, the high-pressure tank **T1** provides the pressure head so that no pump or other mechanical device is required.

The reduction in pressure of the CO_2 as it is transferred from the pressure chamber **410** to the tank **T2** may be used to facilitate separation. Supercritical CO_2 process fluid may be expanded through a pressure reduction device (*e.g.*, a control valve or orifice) to a lower pressure. At this lower pressure, components of the processing fluid (*e.g.*, chemical adjuncts or entrained contaminants) may be rendered insoluble, thereby facilitating the efficient separation of the expanded stream into a light-fluid CO_2 stream and a heavy-fluid (insoluble) alternate stream.

A supercritical CO_2 process fluid may also be expanded through a pressure reduction to the two-phase Liquid/Gas area of the phase diagram. This may enable the segmentation of different process fluids in different segmented volumes of a divided tank or multiple tanks. Such segmentation may be advantageous to could mitigate the generation of mixed waste streams, which may be more costly to manage than single component fluid streams. Segmentation may also enable the utilization of distillation for separation of the processing fluid components (*e.g.*, separation of CO_2 for recycle from chemical adjuncts and entrained contaminants for disposal).

A liquid process fluid stream may be expanded and heated to the gas-state. This would allow a continuous distillation-like separation of components (*i.e.*, evaporation of flash evaporation), for example, as described below with regard the distillation system **340**.

Recycling and abatement

The waste stream received in the tank **T2** is thereafter transferred to a recycling/abatement station **310** through a line **L29** (which is provided with a valve **V12**). The waste stream may be transferred by means of a pump or the like, but is

preferably transferred using a non-mechanical means such as pressure differential and/or gravity. To the extent the waste stream has been separated in the tank **T2**, there may be two of more separate lines delivering the respective separated streams for separate handling by the unit **310**. These streams may be treated and directed by the system **300** in the following manners:

1. CO_2 may be disposed of through controlled venting or draining via a line **L27** to a safe atmospheric discharge and/or collection for unrelated use;

2. CO_2 may be directly supplied to the pressure chamber **410** via a line **L22**. The CO_2 is preferably purified by means of a purification unit **D3**. The CO_2 as delivered to the pressure chamber **410** through the line **L22** may be at greater than atmospheric pressure, in which case it may be used to perform or augment the pressurization of the main processing chamber at the beginning of each cycle;

3. CO_2 may be directed to the purification unit **D1** through the line **L23** and thereafter into the pressure chamber **410**;

4. Gaseous CO_2 may be directed through a purification unit **D2**, through a liquefying unit **314** (which adjusts the pressure and chills the CO_2 gas), and supplied to the stock CO_2 supply **312** for further use in the manner described above;

5. CO_2 may be passed through a purification unit **D4** and re-pressurized and supplied to the high-pressure tank **T1** through a line **L25** using a pressurizing device (*e.g.*, a pump) **P8**;

6. CO_2 may be directed via a line **L26** through a purification unit D5 to a vapor saver tank **320** as discussed below; and

7. Chemical adjuncts and contaminants may be treated and/or disposed of/recycled through a line **L28** and in accordance with good chemical stewardship.

Vapor recovery

Following draining of the process fluid from the pressure chamber **410**, a pressurized CO_2 vapor will remain in the pressure chamber **410**. It is desirable and

often necessary to remove this vapor prior to opening the pressure chamber **410** to remove the substrate(s) (*e.g.*, wafer(s)).

One method for depressurizing the chamber is to vent the chamber using a controlled release. Alternatively, a compressor or pump may be used to draw down the pressure in the pressure chamber **410**.

The pressure of the CO_2 may also be reduced using a vapor recovery system **322** and method as follows. Such methods and apparatus may employ features and aspects of the methods and apparatus disclosed in U.S. Patent Application Ser. No. 09/404,957, filed September 24, 1999 and in U.S. Patent Application Ser. No. 09/669,154, filed September 25, 2000.

A vapor recovery tank or pressurized container **322** is used to rapidly capture CO_2 (typically, gas or SCF) at the end of a process cycle through a line **L18**. The captured CO_2 is typically a gas or supercritical fluid, but may be a liquid (in which case, the venting is preferably from the bottom of the chamber **410** to avoid formation of solid/dry ice). In this manner, the pressure chamber **410** may be depressurized very rapidly. Advantageously, the capturing method is not constrained by the volumetric throughput of a mechanical device (*e.g.*, a compressor). The volume of the vapor recovery tank **322** is preferably on the order of one to 500 times the volume of the pressure chamber **410**.

The captured CO_2 may be handled in any desired manner, including:

a) it may be disposed of through a line **L21** having a valve **V10**, and preferably through a surge tank **324**;

b) using the line **L21** and surge tank **324**, it may be recovered and recycled for use in another application (*e.g.*, a CO_2-based fire suppression system or a storage container for recycle for use in some other service);

c) it may be recovered and recycled for use in the same application (compressed and/or liquified, and/or converted into SCF) and re-supplied to the processing system or to the CO_2-supply system;

d) it may be used in the next processing step to pressurize the pressure chamber **410** (which may be a prerequisite for pressurizing the pressure chamber **410** up to sufficient pressure to effectively add CO_2-based processing fluids).

The vapor recovery system may include a compressor **P7** for assisting the transfer of material from the pressure chamber **410** to the vapor recovery tank(s). For example, at the end of a processing cycle, the pressure chamber **410** may be at high pressure (CO_2-gas at vapor pressure or a supercritical fluid, 300 < P (psia) < 3000) and the vapor recovery tank may be at a low pressure. In order to depressurize the pressure chamber **410** to a low (*e.g.*, ambient) pressure very quickly (*e.g.*, to allow opening of the chamber and removal of the substrate) while saving the majority of the CO_2, the two chambers may be equalized, and then:

a) a compressor may be used to push more CO_2 from the main processing chamber to the vapor-saver tank; and

b) a second vapor recovery tank may be used (*e.g.*, in cascading manner) to again rapidly equilibrate and additionally lower the pressure of the pressure chamber **410**.

A compressor may also be used to remove the material from the vapor recovery tank(s) between the end of a first run and the end of the next run at which time the vapor recovery tank(s) may be required to be at low pressure again. The captured CO_2 may be handled in any of the manners described above.

It will be appreciated that various valving and flow control apparatus in addition to that illustrated may be employed in the system **300**. The vapor-saver system **320** and the several options for handling the CO_2 from the waste stream of line **L10** are independent and any may be eliminated from the system **300** as desired. Each of the purification units **D2**, **D3**, **D4**, **D5** may correspond to the purification unit D1 (*i.e.*, may use any of the methods listed above - distillation, filtration, membrane separation, and absorption/adsorption). As an alternative to the several purification units **D2**, **D3**, **D4**, **D5**, two or more of these purification units may be combined so that the respective flow paths each have a common extent through the shared purification unit and thereafter diverge.

Pressure chamber assembly

With reference to **Figures 8** and **9**, the pressure chamber assembly **400** includes an upper casing **420** and a lower casing **430**. When in a closed position as shown in **Figure 8**, the casings **420**, **430** define a pressure chamber **410** therebetween and a sealing system **450** as described in more detail below seals the

chamber **410**. When in a closed position as shown in **Figure 8**, a pair of opposed clamps **440** surround end portions of the casings **420**, **430** to limit separation of the casings **420**, **430**. The clamps **440** can be displaced to allow the casings **420**, **430** to be separated into an open position as shown in **Figure 9**.

Guard heater

A guard heater assembly **460** is disposed in the chamber **410** and includes an upper guard heater **462** and a lower guard heater **472**. The guard heater assembly **460** defines a holding volume **411** between the heaters **462**, **472**. A platen or chuck **510** is disposed in the holding volume **411** between the guard heaters **462**, **472** and is adapted to support the wafer **5** for rotation about a vertical axis between the guard heaters **462**, **472**. A spray member **190** is mounted in a groove **464F** the upper guard heater **462** and adapted to direct fluid through nozzles **192** onto the working surface **5A** of the wafer.

The casings **420**, **430** are preferably each unitarily formed of stainless steel or other suitable metal. Passages **422A**, **422B**, **422C** are formed through the casing **420**. Passages **432A**, **432B**, **432C** are formed through the casing **430**. As best seen in **Figure 9**, the casing **420** has an annular flange **424** with an outer, annular recess **425** formed therein and defined in part by a vertical wall **425A**. The casing **430** has an annular flange **434** with an annular groove **435** formed therein. The flange **434** has a vertical wall **434A**. The casings **420** and **430** have opposing annular abutment faces **426** and **436**, respectively.

With reference to **Figures 10-12**, the upper guard heater **462** includes an interior member **464** having a top wall **464A** and an annular side wall **464B**. A spiral flow channel **466A** is formed in the top wall **464A**. An outer plate **467** covers the top wall **464A**. An annular surrounding member **468** surrounds the side wall **464B** and defines an annular surrounding channel **466B** therewith. A channel **466C** fluidly connects the channels **466A** and **466B**. An inlet **466D** in the top plate **467** fluidly connects the passage **422A** to the channel **466B**, and an outlet **466E** fluidly connects the passage **422B** to the channel **466A**. The outer plate **467** and the wall **468** are secured to the interior member **464** by welds **8**, for example. The spray member **190** extends through an opening **467A** in the outer plate **467** and is retained (*e.g.*, by an upstream nozzle or screws) in a groove **464C** in the top wall

464A. The nozzles 192 of the spray member 190 are fluidly connected to the passage 422C. The interior member 464, the outer plate 467 and the surrounding wall 468 are preferably formed of stainless steel. The guard heater 462 may be secured to the casing 420 by screws with small standoffs holding the screws off of the walls.

With reference to Figures 13 and 14, the lower guard heater 472 includes an interior member 478 and an outer plate 474 secured thereto by welds 8, for example. An opening 479 extends through the outer plate 474, and an opening 476D extends through the interior member 478. A spiral flow channel 476A is formed in the interior member 478. An inlet passage 476B in the outer plate 474 fluidly connects the passage 432A to the channel 476A, and an outlet passage 476C fluidly connects the passage 432B to the flow channel 476A. The interior member 478 and the outer plate 474 are preferably formed of stainless steel or other suitable metal. The guard heater 472 may be secured to the casing 430 by screws with small standoffs holding the screws off of the walls.

Preferably, the guard heaters 462, 472 each have a surface area (*i.e.*, the "interior", inwardly facing surfaces) to volume ratio of at least 0.2 cm^2/cm^3. More preferably, the guard heaters 462, 472 each have a surface area to volume ratio of between about 0.2 and 5.0 cm^2/cm^3, and most preferably of about 0.6 cm^2/cm^3.

As discussed above, the temperature of the wafer environment (*i.e.*, the chamber 410 and the fluid(s) therein) is preferably controlled during and between the cleaning and other process steps. The temperature in the chamber 410 is controlled using the guard heater assembly 460. More particularly, a flow of temperature control fluid is introduced through the passage 422A, through the inlet opening 466D, through the channel 466B, through the passage 466C, through the passage 466A, through the outlet opening 466E and out through the passage 422B. In this manner, heat from the temperature control fluid is transferred to the guard heater 462 to heat the guard heater 462 (when the fluid is hotter than the guard heater 462) or, alternatively, heat from the guard heater 462 is absorbed and removed by the fluid to cool the guard heater 462 (when the fluid is cooler than the guard heater 462). The lower guard heater 472 may be heated or cooled in the same manner by a temperature control fluid that flows through the passage 432A,

through the inlet opening **476B**, through the channel **476A**, through the outlet opening **476C**, and through the passage **432B**.

The temperature control fluids may be any suitable fluid, preferably a liquid. Suitable fluids include water, ethelyne glycol, propelyne glycol, mixtures of water with either ethelyne or propelyne glycol, Dowtherm A (diphenyl oxide and diphenyl), Dowtherm E, (0-dichlorobenzene), mineral oil, Mobiltherm (aromatic mineral oil), Therminol FR (chlorinated biphenyl). Most preferably, the temperature control fluids are a 50%/50% mixture of water and ethelyne glycol. The fluid may be heated by any suitable means such as an electric, gas-fired or steam heater. The fluid may be cooled by any suitable means such as fluid chiller, for example, of vapor compression refrigeration type or evaporative type.

The guard heater assembly **460** and the casings **420**, **430** are spaced apart to define an insulating gap **470** therebetween that substantially envelopes the guard heaters **462**, **472**. More particularly, an insulating gap **470A** is defined between the outer plate **467** and the adjacent surrounding wall portions of the casing **420** and preferably has a width A. An insulating gap **470B** is defined between the surrounding wall **468** and the adjacent wall of the casing **420** and has a width **B**. An insulating gap **470C** is defined between the outer plate **474** and the adjacent surrounding wall portion of the casing **430** and has a width **C**. Preferably, each of the widths A, **B** and **C** is at least 0.1 mm. More preferably, each of the widths **A**, **B** and **C** is between about 0.1 and 10 mm, and most preferably about 1.0 mm.

The insulating gap **470** may serve to substantially increase the efficiency, controllability and manufacturing throughput of the system **10**. The insulating gap **470** may substantially thermally insulate the guard heaters **462**, **472** from the casings **420**, **430** so that the effect of the temperatures of the casings **420**, **430** on the atmosphere surrounding the wafer **5** is reduced or minimized. Restated, the insulation gap **470** may substantially limit the thermal mass that must be heated or cooled by the temperature control fluids to the thermal masses of the guard heaters **462**, **472**. Accordingly, the temperature of the process fluid may be controlled such that it is substantially different than that of the casings **420**, **430**.

While a fluid flow heating/cooling arrangement is illustrated and described above, other means for heating/cooling the guard heaters **462**, **472** may be employed in addition to or in place of fluid heating. For example, electrical

resistance coils (*e.g.*, designed to radiate heat directly to the wafer) may be provided in the guard heaters **462**, **472**.

With reference to **Figure 18**, a pressure chamber assembly **400A** according to alternative embodiments of the present invention is shown therein. The assembly **400A** differs from the assembly **400** only in that the guard heater assembly **460A** thereof includes insulating layers **471**, **473** in place of the insulating gap **470**. The guard heaters **462**, **472** may be secured to the insulating layers **471**, **473** which are in turn secured to the casings **420**, **430**, respectively.

The insulating layers **471**, **473** may be formed of crystalline fluoropolymers such as PCTFE (polychlorotrifluoroethylene), PTFE (polytetrafluoroethylene), or PVF2 (polyvinylidene difluoride). Preferably, the insulating layers **471**, **473** are formed of bulk PTFE, virgin PTFE or glass-filled PTFE. The insulating layers **471**, **473** may be honey-combed, open cellular, or otherwise constructed or configured to enhance the insulating performance thereof.

Preferably, the guard heater assemblies **460**, **460A** are adapted to provide temperatures in the pressure chamber **410** ranging from about 0 °C to 90 °C. Preferably, the guard heater assemblies **460**, **460A** are adapted to provide heat to the atmosphere in the pressure chamber **410** at a maximum rate of at least 500 joules/second.

Pressure chamber sealing system

The casings **420**, **430** which define the pressure chamber **410** also define a fluid leak path **3** (**Figure 15**) at the interface from the pressure chamber **410** to an exterior region **7** (*e.g.*, the ambient atmosphere (directly or indirectly)). The sealing system **450** is adapted to restrict (fully or partially) the flow of fluid along the fluid leak path **3**.

As best seen in **Figure 15**, the sealing system **450** includes an O-ring **452**, an annular cup (or chevron) seal **454**, an annular spring **456** and an annular retaining ring **458**. As discussed below, the combination of the seals **452**, **454** serves to improve the effectiveness and durability of the pressure chamber seal.

The retaining ring **458** is fixed to the flange **424** and extends radially outwardly toward the flange **434** and below the recess **425**. The retaining ring **458** may be formed of stainless steel or other suitable material. The retaining ring **458**

may be secured to the flange **424** by any suitable means, for example, threaded fasteners.

The cup seal **454** is shown in **Figures 16** and **17**. "Cup seal" as used herein means any self-energized seal that has a concave portion and is configured such that, when the concave portion of the seal is pressurized (*e.g.*, by a pressurized chamber on the concave side of the seal), the seal is thereby internally pressurized and caused to exert an outward force (*e.g.*, against adjacent surfaces of a pressure vessel defining the pressure chamber), to thereby form a seal. The cup seal **454** includes an annular inner wall **454B** joined along an annular fold **454C** to an annular outer wall **454A** and defining an annular channel **454D** therein.

The cup seal **454** is preferably unitarily formed of a flexible resilient material. Preferably, the cup seal **454** is formed of a material that is resistant to swelling and damage when exposed to dense CO_2. Suitable materials include fluorinated polymers and elastomers, such as PTFE (Teflon®, DuPont), filled PTFE, PTFE copolymers and analogs, such as FEP (fluorinated ethylene/propylene copolymers), Teflon AF, CTFE, other highly stable plastics, such as poly(ethylene), UHMWPE (ultra-high molecular weight poly(ethylene)), PP, PVC, acrylic polymers, amide polymers, and various elastomers, such as neoprene, Buna-N, and Epichlorohydrin-based elastomers. Suitable seal materials can be obtained from PSI Pressure Seals Inc., 310 Nutmeg Road South, South Windsor, CT 06074.

The cup seal **454** may be secured to the flange **424** by affixing at least one, and preferably both, of the inner wall **454B** and the fold **454C** to the adjacent portions of the flange **424** and/or the retaining ring **458**. The inner wall **454B**, **454C** may be secured to the flange **424** using adhesive, for example. Preferably, the cup seal **454** is retained by the retaining ring **458** without the use of adhesive or the like.

The spring **456** may be any suitable spring capable of repeatedly and reliably biasing the outer wall **454A** away from the inner wall **454B** (*i.e.*, radially outwardly). Preferably, the spring **456** biases the cup seal **454** radially outwardly beyond the flange **424** when the casings **420**, **430** are separated (see **Figure 9**). Preferably, the spring **456** is a wound wire spring or a cantilever type spring having a shape similar to, but smaller than, the cup seal **454** and nested inside the cup seal

454. The spring 456 is preferably formed of spring grade stainless steel. The spring 456 may be integrally formed with the cup seal 454. In addition to or in place of the provision of the spring 456, the cup seal 454 may be formed so as to have an inherent bias to spread the walls 454A, 454B apart. Moreover, the spring 456 may be omitted and the cup seal 454 may be provided with no inherent bias.

The O-ring 452 is disposed in the groove 435. Preferably, the O-ring 452 is secured in the groove 435 by an interference fit. The O-ring is formed of a deformable, resilient material. Preferably, the O-ring 452 is formed of an elastomeric material. More preferably, the O-ring 452 is formed of bunna-n or neoprene, and most preferably of EDPM. The O-ring 452 is sized such that, when the O-ring 452 is in its unloaded state (*i.e.*, when the casings 420, 430 are separated; see **Figure 9**), a portion of the O-ring 452 will extend above the abutment face 436.

When the casings 420, 430 are closed, the cup seal 454 is captured between the flanges 424 and 434 as shown in **Figures 8** and **15**. The spring 456 biases the walls 454A and 454B against the walls 434A and 425A, respectively. When the chamber 410 is pressurized above the ambient pressure, the pressure exerted in the channel 454D forces the walls 454A and 454B apart and into tighter, more sealing engagement with the respective walls 434A and 425A.

In this manner, the cup seal 454 provides a secure, primary seal that prevents or substantially reduces the flow of the fluid from the chamber 410 to the O-ring 452 along the fluid leak path 3. The O-ring 452 is thereby spared potentially damaging exposure to the process fluid. Such protection of the O-ring 452 may substantially extend the service life of the O-ring 452, particularly where the process fluid includes high pressure CO_2. Accordingly, the sealing system 450 may provide for a high throughput wafer manufacturing system with relatively long-lived seals.

Notably, when the chamber 410 is pressurized, the casings 420, 430 may be separated somewhat by the internal pressure so that the O-ring 452 is not well-loaded for sealing. Because the cup seal 454 serves as a primary seal, a secure sealing arrangement may nonetheless be provided. However, in the event of a partial or complete failure of the cup seal 454, the O-ring 452 may serve to prevent or reduce leakage of the process fluid to the environment. According to certain

embodiments, the assembly **400** may be adapted such that the O-ring **452** will allow fluid to pass along the fluid leak path **3** when the chamber **410** is at at least a selected pressure so that the O-ring is not pressurized and no damaging process fluid (*e.g.*, CO_2) is in contact with the O-ring for extended periods of time.

When the fluid in the chamber **410** is at atmospheric pressure or vacuum, the sealing effectiveness of the cup seal **454** will typically be diminished (however, the bias of the spring **456** may provide some sealing performance). In this event, the O-ring **452** may serve as the primary seal to prevent or reduce leakage of atmospheric fluid into the chamber **410** through the fluid leak path **3**. Notably, the atmospheric fluid (typically air) typically will not include high concentrations of CO_2 or other components unduly harmful to the O-ring material.

Preferably, and as illustrated, the O-ring **452** sealing arrangement is a butt-type arrangement so that no sliding components are present. The pressure energizing mechanism of the cup seal **454** allows for use of a relatively low bias force for the spring **456**. These aspects of the invention assist in minimizing the generation of any particles that may be detrimental to the wafer **5**. The cup seal **454** may be otherwise oriented or located in the pressure chamber assembly. Two or more of the cup seals **454** may be arranged in series along the fluid leak path.

From the description herein, it will be appreciated that the combination of a cup seal and an elastomeric O-ring seal overcomes certain problems associated with high pressure sealing of CO_2 holding vessels that typically neither an elastomeric O-ring seal nor a cup seal can overcome. In particular, elastomeric O-rings are generally not long-lived when exposed to high-pressure CO_2 and then rapidly depressurized. Cup seals when used as pressure seals typically require a large pre-load spring to enable the same vessel for vacuum service. Such large pre-load may cause greater friction and wear and, thus, generation of damaging/contaminating particles. In accordance with the present invention, the elastomeric O-ring may be externally energized (compressed) when required to establish a vacuum within the chamber.

Wafer holding assembly

With reference to **Figures 19-22**, a wafer holding assembly **520** according to further embodiments of the present invention is shown therein. The assembly

520 may be used in place of the chuck 510 in a pressure chamber assembly 400B (Figure 19) otherwise corresponding to the pressure chamber assembly 400. As will be better appreciated from the following description, the wafer holding assembly 520 includes a substrate holder or platen or chuck 522 and is adapted to retain the wafer on the chuck 522 by means of a pressure differential generated by rotation of the chuck 522.

The chuck 522 has a front surface 524 and an opposing rear surface 528. A plurality (as shown, eight) of impeller vanes 529 extend rearwardly from the rear surface 528 and radially outwardly with respect to a central rotation axis E-E (Figure 19). A plurality (as shown, four) of passages 526A extend fully through the chuck 522 from the rear surface 528 to a circumferential channel 526B formed in the front surface 524. A plurality (as shown, sixteen) of channels 526C extend radially outwardly from and fluidly communicate with the channel 526B. Additional circumferential channels (not shown) may fluidly connect the channels 526C.

As shown in Figure 19, the chuck 522 is mounted on a driven shaft 530 for rotation therewith about the rotational axis E-E. As the chuck 522 is rotated, the impeller vanes 529 tend to push or force the fluid between the rear surface 528 and the adjacent, opposing surface 412 of the pressure chamber 410 radially outwardly in the directions F toward the outer periphery of the chuck 522. A pressure differential is thereby generated beneath the chuck 522 between the inner region (*i.e.*, nearest the axis E-E) of the chuck 522 and the outer region of the chuck. More particularly, the pressure in the central region (including the pressure at the lower openings of the passages 526A) is less than the pressure at the outer edges of the chuck 522 and the pressure in the chamber 410 on the side of the wafer 5 opposite the chuck 522. As a result, a differential is created between the fluid pressure exerted on the top surface of the wafer 5 and the pressure of the fluid in the channels 526B, 526C.

In the foregoing manner, the wafer 5 is secured to the chuck 522 as the chuck 522 and the wafer 5 are rotated. In order to retain the wafer 5 on the chuck 522 prior to initiating rotation or during process steps without rotation, and/or in order to provide additional securement, supplemental holding means may be provided. Such supplemental means may include, for example, adhesive, clamps,

and/or an externally generated pressure differential assembly such as the wafer holding assembly **550** described below.

With reference to **Figures 23-25**, a wafer holding system **551** according to further embodiments of the present invention is shown therein. The system **551** includes a wafer holding assembly **550** and may be used in place of the chuck **510** in a pressure chamber assembly **400C** (**Figure 23**) otherwise corresponding to the pressure chamber assembly **400** (for clarity, certain elements of the assembly **400C** are not shown). The assembly **400C** is further provided with a magnetic drive assembly **580**.

As will be better appreciated from the following description, the wafer holding assembly **550** includes a substrate holder or platen or chuck **552** and is adapted to retain the wafer **5** on the chuck **552** by means of a pressure differential between the pressure in the pressure chamber **410** and the pressure at an outlet **564**. The magnetic drive system **580** is adapted to drive the chuck **552** relative to the pressure chamber **410** without requiring sealing directly between relatively moving elements (namely, a shaft **560** and the casing **430**). It will be appreciated that the wafer holding system **551** may be used with other drive arrangements and that the magnetic drive assembly **580** may be used with other wafer holder mechanisms.

Turning to the magnetic drive assembly **580** in greater detail, the assembly **580** includes an upper housing **585** and a lower housing **584**. The upper end of the upper housing **585** is received in the casing **430** such that a gas-tight seal is provided therebetween (*e.g.*, by means of a suitable sealing device such as a gasket). The shaft **560** extends through the housing **585** and is rotatably mounted thereon by upper and lower bearings **586** and **588**. A seal **561** is positioned between the shaft **560** and the housing member **585**. The seal **561** is preferably a non-contact seal. More preferably, the seal **561** is a gap seal (more preferably, defining a gap **G** having a width of between about 0.001 and 0.002 inch) or a labyrinth seal. The seal **561** may also be a lip seal or a mechanical seal.

An internal magnet holder **590** is mounted on the lower end of the shaft **560** for rotation therewith and has an inner magnet **M1** mounted on an outer portion thereof. The internal magnet carrier **590** is disposed in the lower housing member **584**. A pressure cap **596** surrounds the internal magnet carrier **590** and forms a gas-tight seal (*e.g.*, by means of a suitable sealing device such as a gasket) with the

lower end of the lower housing member **584**. In this manner, the pressure cap **596** and the upper housing member **585** together form a gas-tight reservoir for fluids that may enter the upper housing member **585** from the pressure chamber **410**.

A drive unit **582** is mounted on the housing member **584**. The drive unit **582** may be any suitable drive device such as a hydraulically driven unit or, more preferably, an electrically driven unit. The drive unit **582** is operable to rotate a shaft **594** that extends into the housing member **584**. An external magnet holder **592** is mounted on the shaft **594** for rotation therewith. The external magnet holder **592** is disposed in the housing member **584**, but is mechanically and fluidly separated from the internal magnet holder **590** and the pressure chamber **410** by the pressure cap **596**. An external magnet **M2** is mounted on the external magnet holder **592** for rotation therewith.

The magnets **M1** and **M2** are relatively constructed, arranged and configured to such that they are magnetically coupled to one another. In this manner, the magnets **M1**, **M2** serve to indirectly mechanically couple the external magnet holder **592** and the internal magnet holder **590**, and thereby the shaft **594** and the shaft **560**. Thus, the chuck **522** may be rotated by operation of the drive unit **582**.

The magnetic drive assembly **580** may be any suitable drive assembly with suitable modifications as described herein. Suitable magnetic drive assemblies include the BMD 150, available from Büchi AG of Uster, Switzerland. Moreover, other types of non-mechanically coupling drive units may be used.

As best seen in **Figures 24** and **25**, the chuck **552** has a front surface **554**. A countersunk passage **556B** extends fully through the chuck **552**. A plurality of channels **526A** extend radially outwardly from and fluidly communicate with the passage **556B**. Additional circumferential channels (not shown) may fluidly connect the channels **526A**.

As shown in **Figure 23**, the chuck **552** is mounted on the driven shaft **560** by a nut **558** for rotation with the shaft **560** about a rotational axis **F-F**. The shaft **560** has an axially extending connecting passage **562** extending therethrough. The nut **558** has a central aperture that allows fluid communication between the passage **562** and the passage **556B**. A passage **563** extends radially through the shaft **560** and fluidly connects the passage **562** to the secondary chamber **565**

defined between the housing **585** and the shaft **560**. Preferably, the seal **561** is a non-contact seal (*e.g.*, a gap seal or a labyrinth seal) forming a restricted flow passage that provides fluid communication between the pressure chamber **410** and the secondary chamber **565**.

An outlet **564** in the housing member **585** fluidly connects the secondary chamber **565** with a line **L40**. A line **L41** having a valve **V30** fluidly connects a flow restrictor **566** and a storage tank **568** to the line **L40**. The flow restrictor **566** may be a throttling orifice or a suitable partial closure valve such as a needle valve adapted to provide a controlled limit on flow therethrough. A line **L42** having a valve **V31** fluidly connects a fluid transfer device **P20** (*e.g.*, a vacuum pump) to the line **L40**.

The system **551** may be used in the following manner to secure the wafer **5** to the chuck **552**. A pressure is provided in the storage tank **568** that is less than the pressure of the atmosphere in the pressure chamber **410** under typical process conditions. During processing, the valve **V30** is opened so that the secondary chamber **565** is placed in fluid communication with the storage tank **568** which serves as a passive low pressure source (*i.e.*, no pump, compressor or the like is employed to generate the pressure or vacuum). In this manner, the pressure in the chamber **565** (and, therefore, in the fluidly communicating channels **556A**) is less than the pressure in the pressure chamber **410**. A pressure differential is thereby generated between the upper surface of the wafer **5** and the backside of the wafer **5**, causing the wafer **5** to be drawn down onto the chuck **552** in the direction **D**.

The flow restrictor **566** serves to limit flow of fluid from the secondary chamber **565** to the storage tank **568**, thereby providing a controlled leak. The controlled leak serves to ensure a that sufficient differential pressure is provided across the wafer **5** to hold it in place without allowing undue loss of the fluid from the pressure chamber **410**.

Preferably, the pressure of the storage tank **568** is greater than atmospheric pressure, but less than the pressure of the pressure chamber **410** during the intended processes. The storage tank **568** may permit gas that is drawn from the pressure chamber **410** to be cleaned and recycled or otherwise disposed of.

Alternatively, the storage tank **568** may be omitted or bypassed such that the line **L41** vents directly to atmosphere when the valve **V30** is opened.

If the pressure of the atmosphere in the pressure chamber **410** is the same as or less than the pressure of the passive low pressure source (*i.e.*, the storage tank **568** or the ambient atmosphere), the fluid transfer device **P20** may be operated to reduce the pressure in the chamber **565** to less than the pressure in the pressure chamber **410** to generate the desired amount of pressure differential across the wafer **5**. In this event, the valve **V30** is closed and the valve **V31** is opened.

Preferably, the system **551** is operable to generate a pressure in the channels **556A** that is at least 1 psi less than the pressure in the pressure chamber **410**, and more preferably, between about 5 and 20 psi less.

Rotating spray member

The spray member **190** as described above as well as the spray members **602**, **652** described below provide dispersed inlets to deliver process fluids directly to the surface of the wafer. Moreover, the spray members provide a distributed stream of these fluids that incorporates mechanical action from the fluid/surface impingement. This mechanical action is generally the result of the momentum of the fluid stream coming out of the spray member.

Design of the spray member (including, for example, number, spacing and sizes of spray ports) may be used to selectively control the use of the energy transfer/mechanical action. Additionally, simultaneous rotation of the wafer may serve to generate shear (momentum) between the fluid and the wafer surface to further facilitate removal of materials from the surface.

With reference to **Figure 26**, a pressure chamber assembly **400D** according to further embodiments of the present invention is shown therein. The assembly **400D** may be the same as the assembly **400** (certain aspects not shown in **Figure 26** for clarity), for example, except for the provision of a rotating spray member assembly **600**. The assembly **400D** may include a rotatively driven wafer holder **510** or the wafer **5** may be held stationary. The spray member assembly **600** may be used with any of the above-described pressure chamber assemblies. Notably, the spray member assembly **600** may be used to provide relative rotation between a spray member and a wafer without requiring a rotating wafer holder.

The spray member assembly **600** includes a spray member **602** as also shown in **Figures 27** and **28**. The spray member **602** includes a shaft portion **610**

and bar-shaped distribution portion **620**. An axial passage **612** extends from an upper opening **614** and through the portion **610** and fluidly communicates with a lateral passage **622** in the portion **620**. A series of spray ports **624** extend from the passage **622** to the lower, outer edge of the distribution portion **620**. The spray member **602** may be formed of a highly oxidatively stable material such as **316** stainless steel.

A bearing **630** is fixed within a passage **427** in the casing **420** such that a flange **632** of the bearing **630** is received in an enlarged portion **427A** of the passage **427**. The bearing **630** is preferably a sleeve bearing as shown. The bearing **630** may be formed of PTFE, PE or PEEK. Preferably, the bearing **630** is formed of PTFE.

The shaft portion **612** extends through the bearing **630** and has a flange **616** overlying the flange **632**. An end cap **640** is securely mounted to the casing **420** in the portion **427A** and over the flange **616**, for example, by threading. Preferably, the end cap **640** forms a gas pressure tight seal with the casing **420**.

The end cap **640** is adapted to receive a supply of process fluid (*e.g.*, from a supply line **9**) such that the flow of process fluid is directed through a passage **642** and into the passage **612**. The fluid continues into the passage **622** and is dispensed through the ports **624**.

With reference to **Figures 27** and **28**, the ports **624** are angled with respect to the intended rotational axis **N-N** (see **Figure 28**) of the spray member **602**. Preferably, the ports **624** are disposed at an angle **M** (**Figure 28**) of between about 0 and 85, and more preferably of between about 30 and 60. The ports **624** are angled opposite the direction **R** (**Figure 27**) of intended rotation.

In use, the reaction force responsive the fluid exiting the ports **624** (*i.e.*, the hydraulic propulsion) causes the spray member **602** to rotate about the axis **N-N** within the bearing **630**. Notably, because the bearing **630** is mounted internally (*i.e.*, within the high pressure region) of the pressure chamber **410** separated from ambient pressure by the end cap **640**, the bearing is not subjected to loading from a substantial pressure drop thereacross.

Alternatively or in addition to the hydraulically driven rotation, the spray member **602** may be coupled to a drive unit. The spray member may be directly or indirectly mechanically coupled to the drive unit (*e.g.*, using a bearing/seal/drive

unit configuration) or may be non-mechanically coupled (*e.g.*, using a coupling force for electromagnetic or magnetic (permanent, electro- or induction-driven) coupling). Some or all of the ports **624** may be oriented parallel to the axis of rotation **N-N**.

A spray member **652** according to further embodiments of the present invention may be used in place of the spray member **602** and with any of the foregoing modifications or features. The spray member **652** has a shaft portion **660** and corresponds to the spray member **602** except that the bar-shaped distribution portion **620** is replaced with a plate- or disk-shaped distribution portion **670** having a pattern of spray ports **674** formed therein. The pattern of the spray ports **674** may be modified.

It will be appreciated that various of the inventions described hereinabove and as reflected in the claims that follow may be used for processes other than those specifically discussed above with regard to the preferred embodiments. For example, the means and methods for holding a wafer to a chuck may be employed to hold other types of substrates, in other types of processes (*e.g.*, processes not involving CO_2 or wafer fabrication). The supply/recovery system **300** and the subsystems thereof may be used in other systems and processes using CO_2-containing process fluids, such as chemical mechanical planarization (CMP) systems employing CO_2.

The foregoing is illustrative of the present invention and is not to be construed as limiting thereof. Although a few exemplary embodiments of this invention have been described, those skilled in the art will readily appreciate that many modifications are possible in the exemplary embodiments without materially departing from the novel teachings and advantages of this invention. Accordingly, all such modifications are intended to be included within the scope of this invention. Therefore, it is to be understood that the foregoing is illustrative of the present invention and is not to be construed as limited to the specific embodiments disclosed, and that modifications to the disclosed embodiments, as well as other embodiments, are intended to be included within the scope of the invention.

THAT WHICH IS CLAIMED IS:

1. A pressure chamber assembly for processing a substrate, the pressure chamber assembly comprising:

a) a pressure vessel defining an enclosed pressure chamber;

b) a substrate holder disposed in the pressure chamber and adapted to hold the substrate;

c) a drive assembly operable to move the substrate holder, the drive assembly including:

a first drive member connected to the substrate holder for movement therewith relative to the pressure vessel;

a second drive member fluidly isolated from the first drive member and the pressure chamber; and

a drive unit operable to move the second drive member, wherein the drive unit is fluidly isolated from the first drive member and the pressure chamber;

wherein the second drive member is non-mechanically coupled to the first drive member such that the drive unit can move the substrate holder via the first and second drive members.

2. The pressure chamber assembly of Claim 1 wherein the second drive member is magnetically coupled to the first drive member.

3. The pressure chamber assembly of Claim 2 including:

a first magnet mounted on the first drive member;

a second magnet mounted on the second drive member adjacent and spaced apart from the first magnet; and

a housing interposed between the first and second magnets such that the first and second magnets are mutually fluidly isolated thereby.

4. The pressure chamber assembly of Claim 1 wherein:

the drive assembly includes a housing forming a fluid-tight seal with the pressure vessel and defining a secondary chamber in fluid communication with the pressure chamber; and

the first drive member is disposed within the secondary chamber and the second drive member is disposed outside the secondary chamber.

5. The pressure chamber assembly of Claim 4 wherein the first drive member includes a shaft connected to the substrate holder and the drive assembly further includes a bearing interposed between the shaft and the housing.

6. The pressure chamber assembly of Claim 1 wherein the drive assembly is operable to rotate the substrate holder relative to the pressure vessel.

7. A pressure chamber assembly for processing a substrate, the pressure chamber assembly comprising:

a) a pressure vessel defining an enclosed pressure chamber;

b) a substrate holder disposed in the pressure chamber and adapted to hold the substrate; and

c) a magnetic drive assembly operable to move the substrate holder relative to the pressure vessel.

8. A pressure chamber assembly for processing a substrate, the pressure chamber assembly comprising:

a) a pressure vessel defining an enclosed pressure chamber and an exterior opening in fluid communication with the pressure chamber;

b) a substrate holder disposed in the pressure chamber and adapted to hold the substrate; and

c) a drive assembly operable to move the substrate holder relative to the pressure vessel, the drive assembly including a housing covering the exterior opening of the pressure chamber so as to seal the exterior opening.

9. The pressure chamber assembly of Claim 8 wherein the drive assembly includes a drive member extending through the exterior opening and connected to the substrate holder.

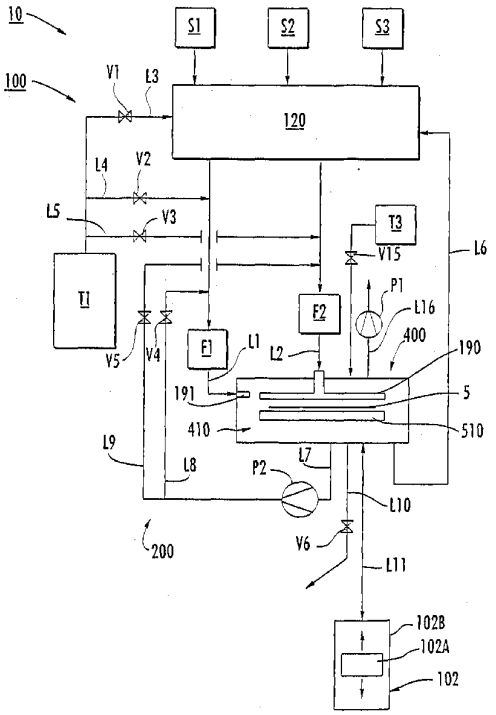

10
100
S1
S2
S3
V1
L3
120
L4
V2
L5
V3
T3
V15
L6
T1
P1
L16
F2
400
F1
L1
L2
190
191
5
410
510
L9
L8
L7
P2
L10
200
V6
L11
102B
102A
102

FIG. 1.

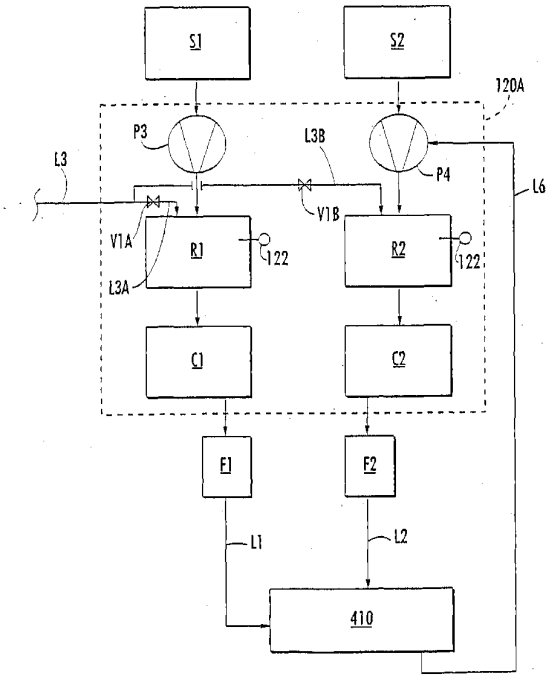

S1
S2
120A
P3
L3B
P4
L3
L6
V1A
V1B
R1
122
R2
122
L3A
C1
C2
F1
F2
L1
L2
410

FIG. 2.

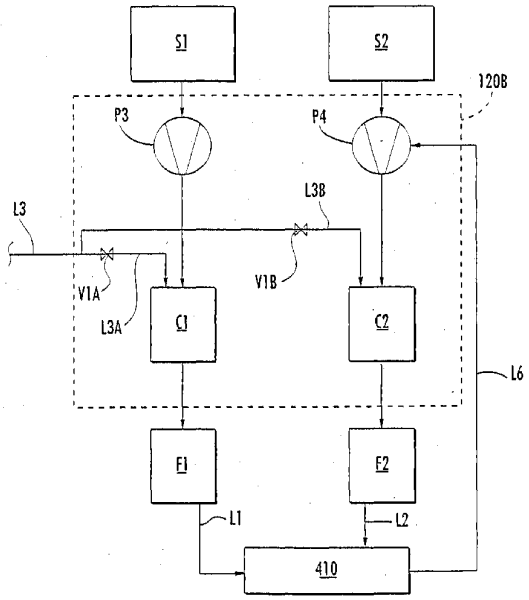


FIG. 3.

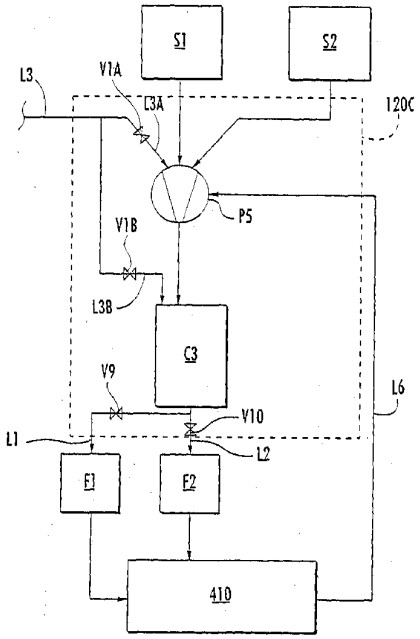


FIG. 4.

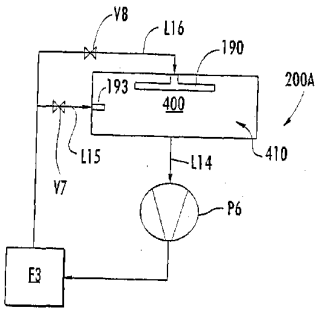


FIG. 5.

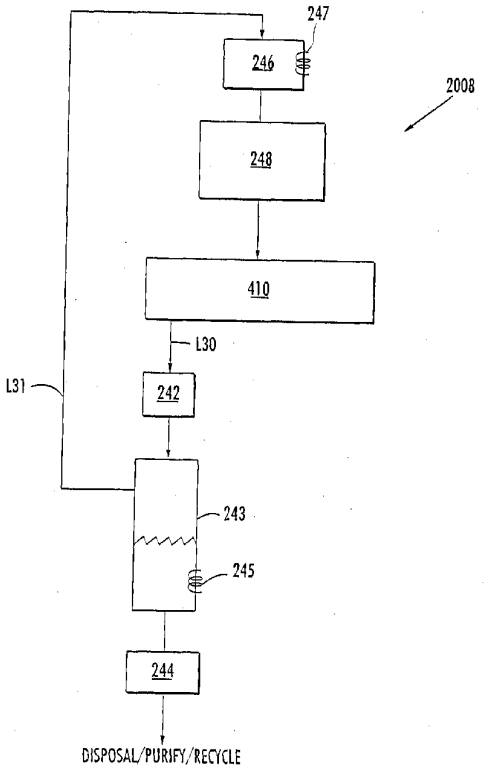

247
246
2008
248
410
L30
L31
242
243
245
244
DISPOSAL/PURIFY/RECYCLE

FIG. 6.

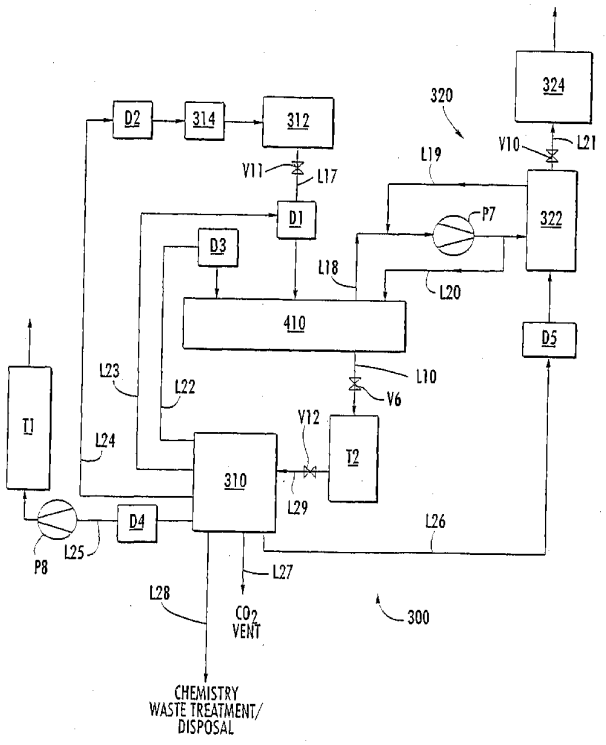

D2
314
312
320
324
V11
L17
L19
V10
L21
D1
P7
322
D3
L18
L20
410
D5
L23
L22
L10
V6
T1
V12
T2
L24
310
L29
D4
L26
P8
L25
L27
L28
CO2 VENT
300
CHEMISTRY WASTE TREATMENT/ DISPOSAL

FIG. 7.

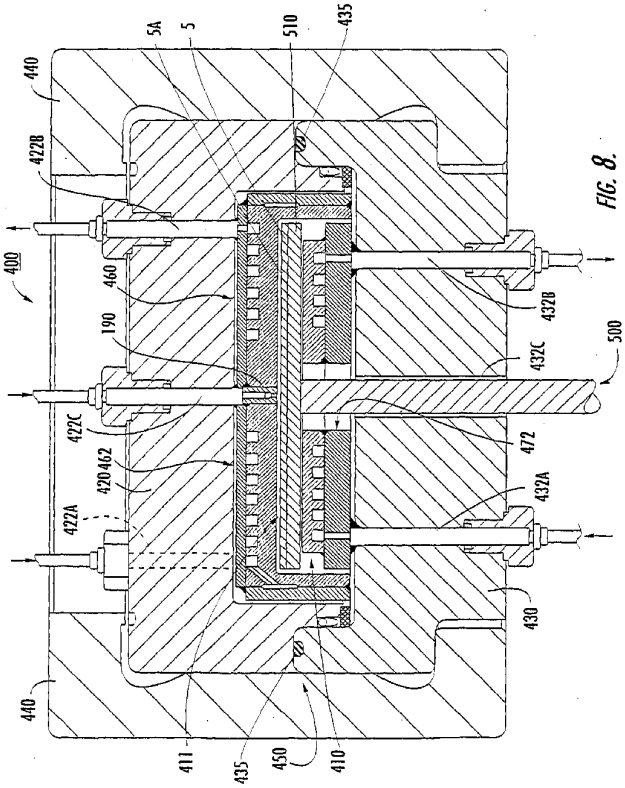

5A
5
510
435
440
422B
400
460
190
432B
500
432C
422C
472
420 462
432A
422A
430
440
411
435
450
410

FIG. 8.

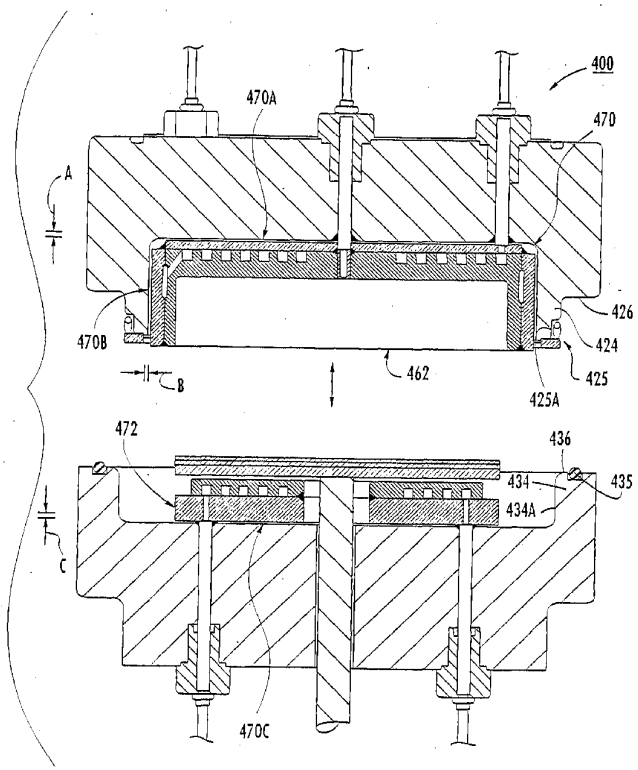

400
470A
470
A
426
470B
424
462
425
B
425A
472
436
434
435
434A
C
470C

FIG. 9.

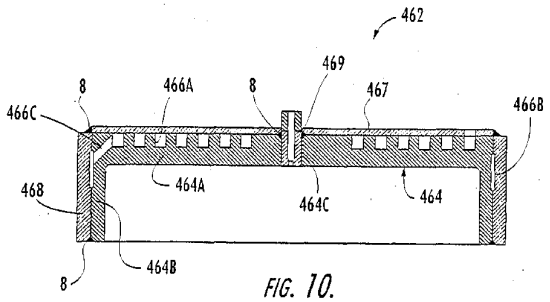

462
469
8
466A
8
467
466C
466B
464A
464C
464
468
464B
8

FIG. 10.

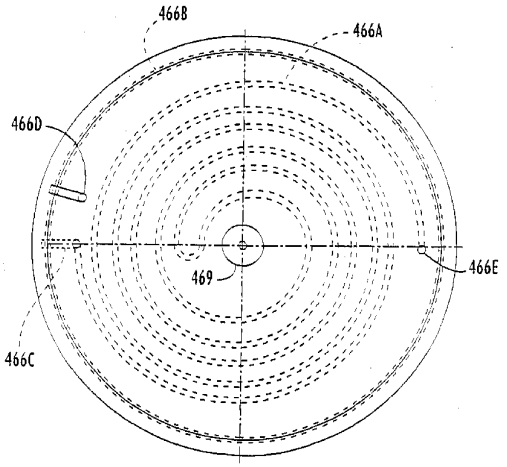

466B
466A
466D
469
466E
466C

FIG. 11.

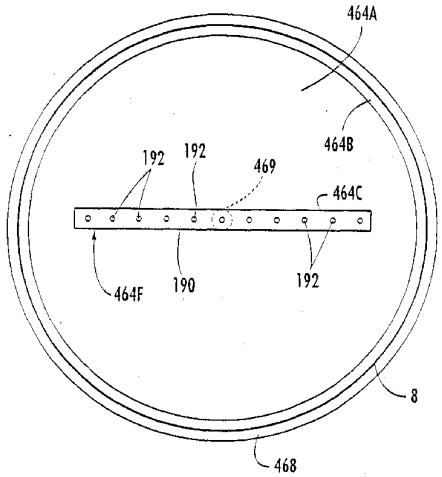

464A
464B
192
192
469
464C
464F
190
192
8
468

FIG. 12.

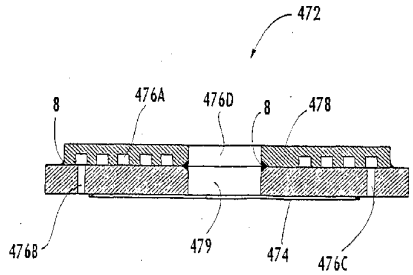

472
8
476A
476D
8
478
476B
479
474
476C

FIG. 13.

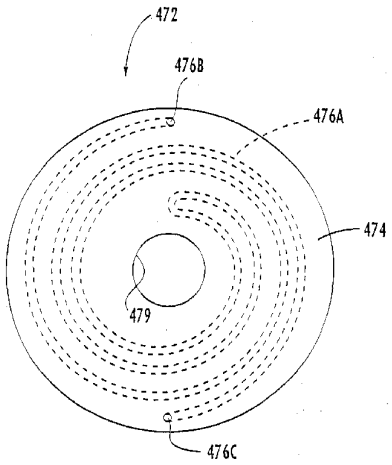


FIG. 14.

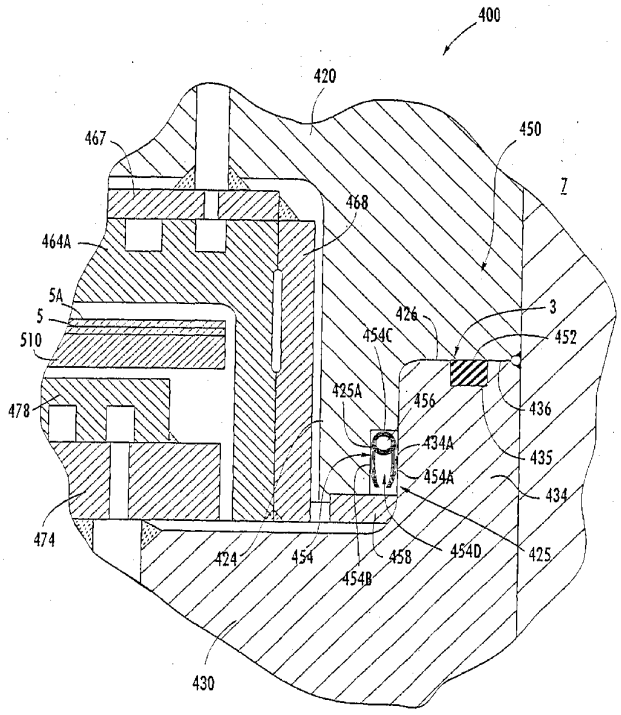

400
420
467
450
7
468
464A
5A
5
510
426
3
454C
452
425A
456
436
478
434A
435
454A
434
474
424
454
458
454D
425
454B
430

FIG. 15.

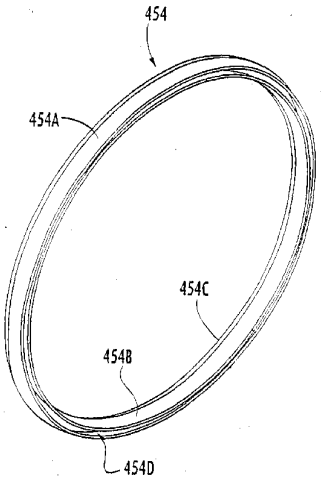


FIG. 16.

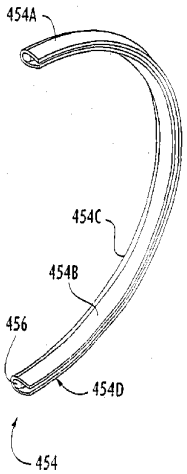


FIG. 17.

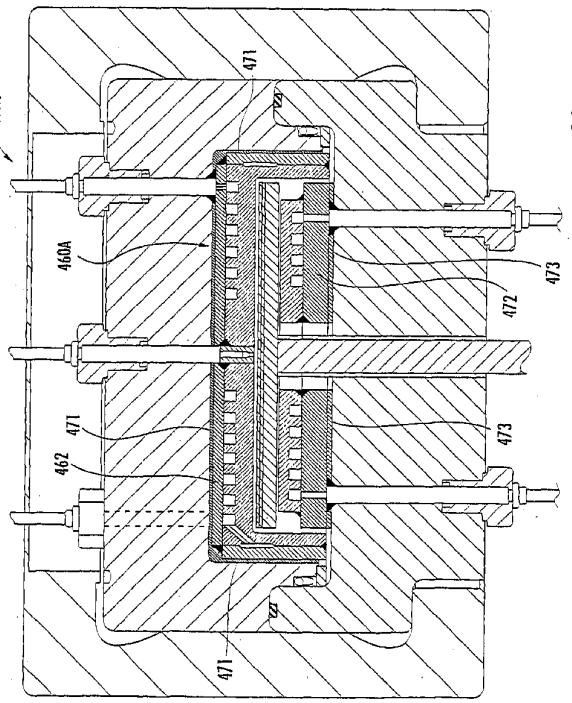


FIG. 18.

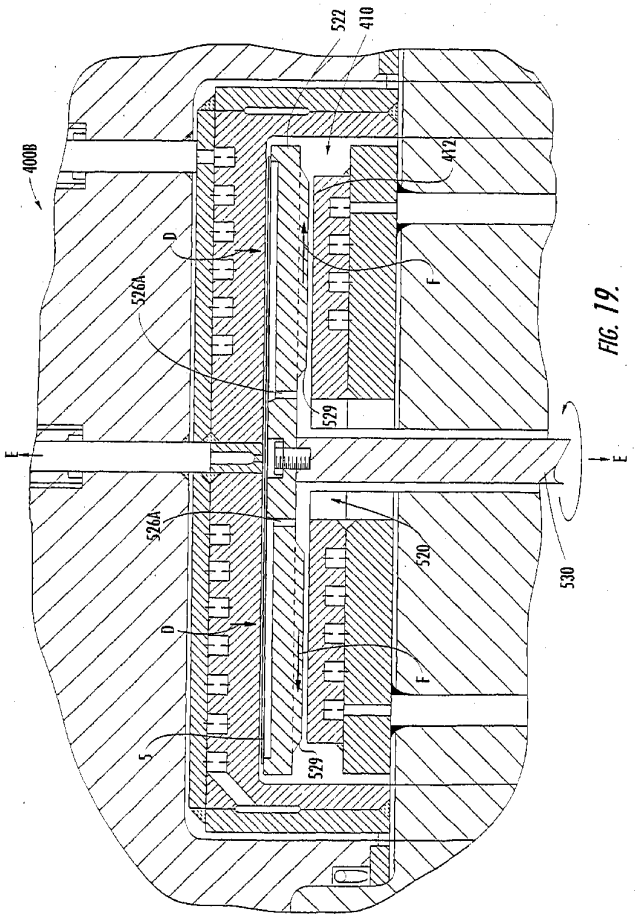


FIG. 19.

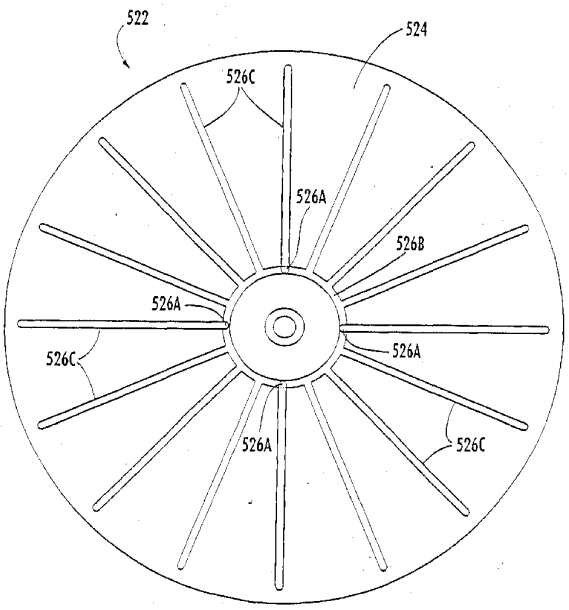


FIG. 20.

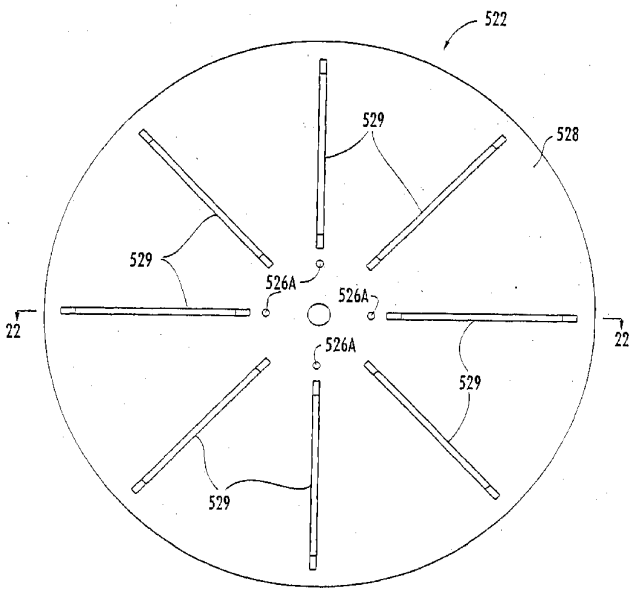

522
529
528
529
526A
526A
22
22
526A
529
529

FIG. 21.

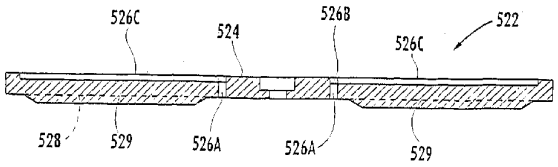

526C
524
526B
526C
522
528
529
526A
526A
529

FIG. 22.

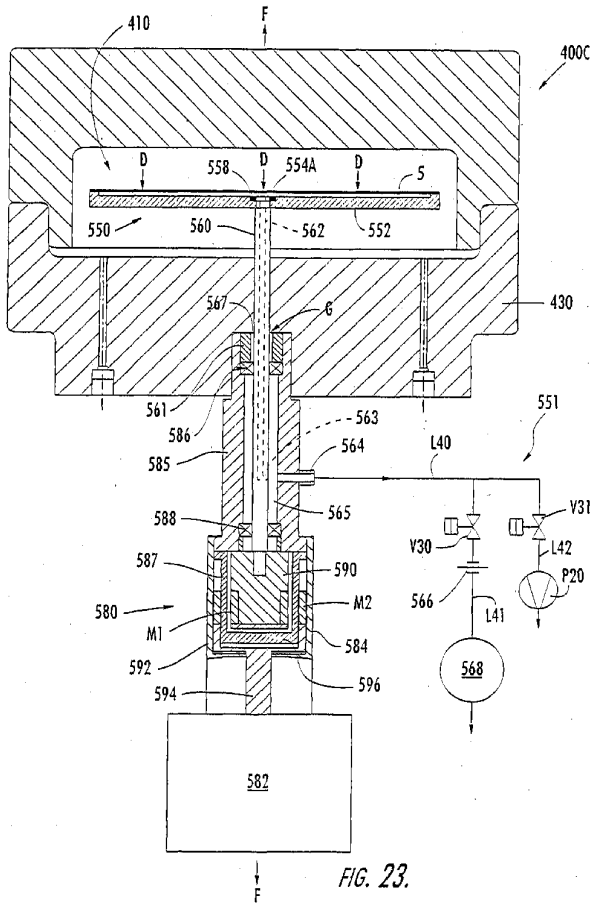

410
F
400C
D
558
D
554A
D
5
550
560
562
552
430
567
C
561
586
585
563
564
L40
551
588
565
V31
V30
L42
587
590
P20
566
L41
580
M2
M1
584
592
596
568
594
582
F

FIG. 23.

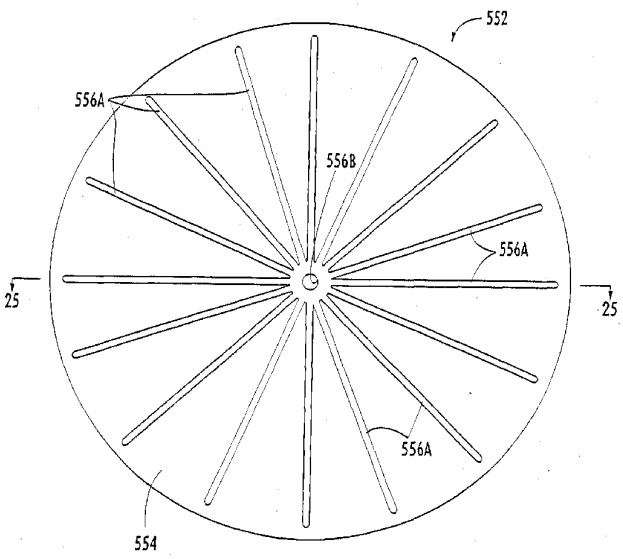


FIG. 24.

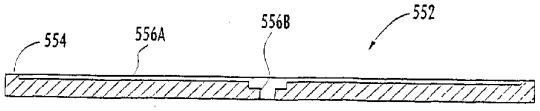


FIG. 25.

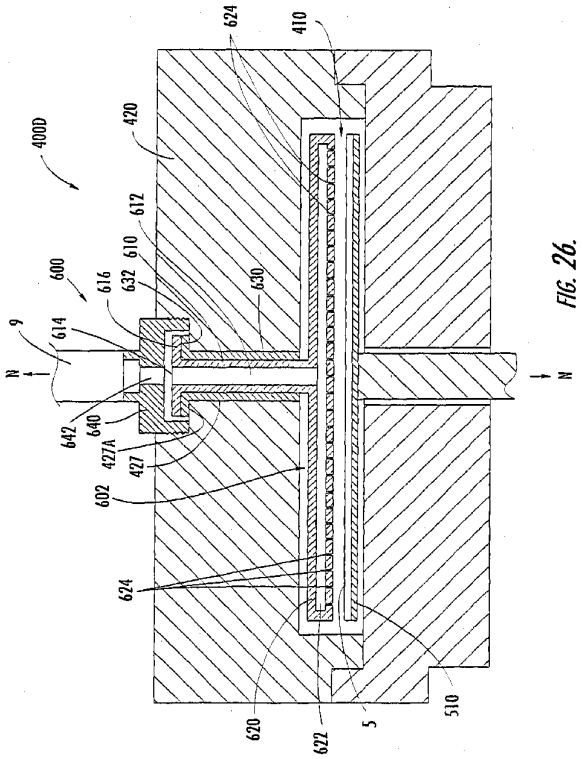

624
410
420
400D
612
610
600
616
632
630
614
9
N
N
642
640
427A
427
602
624
620
622
5
510

FIG. 26.

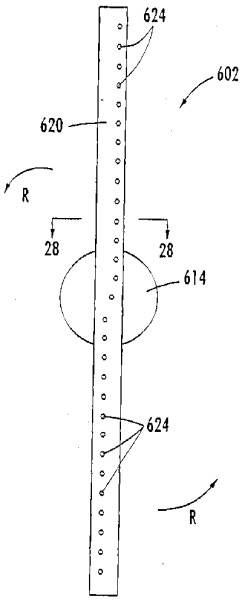


FIG. 27.

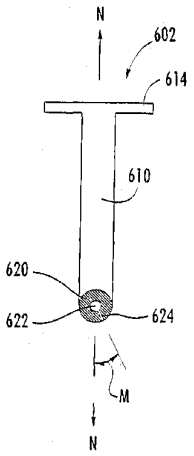


FIG. 28.

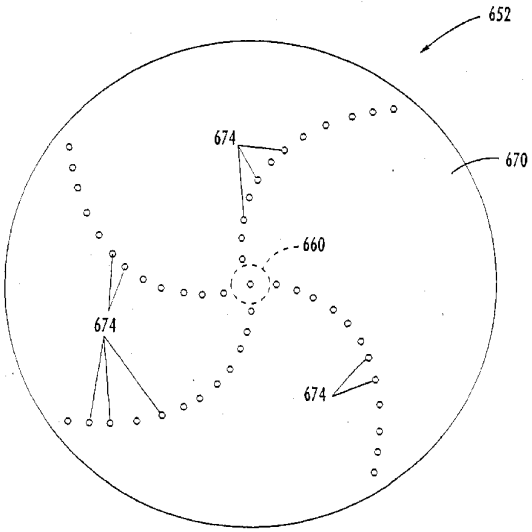


FIG. 29.

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/US 02/24004

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01L21/00 B08B7/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 B08B H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 92 05922 A (GENMARK AUTOMATION) 16 April 1992 (1992-04-16) abstract page 12, line 7 - line 23; figure 3	1-9
X Y	EP 0 725 427 A (APPLIED MATERIALS, INC.) 7 August 1996 (1996-08-07) abstract column 4, line 26 - line 44 column 5, line 32 - line 56; figures	1-3,6-8 4,5,9
Y A	US 4 106 825 A (RUYAK) 15 August 1978 (1978-08-15) abstract column 1, line 64 -column 2, line 55; figures	4,5,9 1-3,6-8

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of box C. [X] Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
5 December 2002	12/12/2002
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016	Authorized officer van der Zee, W

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/US 02/24004

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 681 317 A (TEXAS INSTRUMENTS INC.) 8 November 1995 (1995-11-08) abstract column 3, line 3 -column 4, line 3; figure	1,5-8

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

Int onal Application No
PCT/US 02/24004

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
WO 9205922	A	16-04-1992	WO 9205922	A1	16-04-1992
EP 0725427	A	07-08-1996	US 5982986	A	09-11-1999
			EP 0725427	A2	07-08-1996
			JP 8264452	A	11-10-1996
			US 6222991	B1	24-04-2001
US 4106825	A	15-08-1978	CA 1081755	A1	15-07-1980
			DE 2755503	A1	15-06-1978
			FR 2373729	A1	07-07-1978
			GB 1574770	A	10-09-1980
EP 0681317	A	08-11-1995	DE 69523208	D1	22-11-2001
			DE 69523208	T2	27-06-2002
			EP 0681317	A2	08-11-1995
			JP 7302776	A	14-11-1995
			US 5494526	A	27-02-1996

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 ワーム，スティーヴ・エル
アメリカ合衆国ノースカロライナ州２７６１２，ローリー，セント・トーマス・プレイス ４７０６