



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1643179 B

(45) 授权公告日 2010.05.26

(21) 申请号 03806234.8

(22) 申请日 2003.01.17

(30) 优先权数据

60/394,634 2002.01.17 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2004.09.16

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2003/001548 2003.01.17

(87) PCT申请的公布数据

W02003/062490 EN 2003.07.31

(73) 专利权人 松德沃技术公司

地址 美国科罗拉多

(72) 发明人 奥弗·斯内

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 蔡胜利

(51) Int. Cl.

G23C 16/455 (2006.01)

G23C 16/56 (2006.01)

G23C 16/44 (2006.01)

G05D 16/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1244598 A, 2000.02.16, 权利要求书, 附图 11.

CN 1292431 A, 2001.04.25, 权利要求书, 附图 32.

WO 0079019 A1, 2000.12.28, 权利要求书, 实施例.

WO 0127347 A1, 2001.04.19, 权利要求书, 附图 1.

审查员 肖威

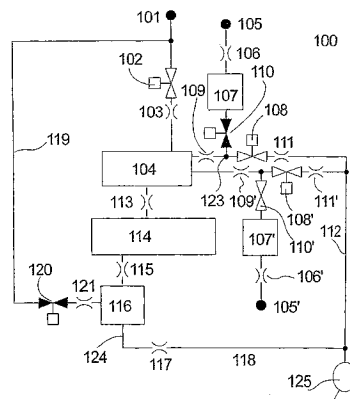
权利要求书 3 页 说明书 40 页 附图 14 页

(54) 发明名称

ALD 装置和方法

(57) 摘要

本发明提供了一种原子层沉积设备和方法, 其能够提高化学试剂剂量调配以及清理的效率。所述设备包括用于处理室维护的集成式结构和程序。



1. 一种进行原子层沉积的方法,包括以下顺序步骤:进行第一化学试剂剂量调配的步骤,进行第一清理的步骤,进行第二化学试剂剂量调配的步骤以及进行第二清理的步骤,所述方法的特征在于,

所述进行第一化学试剂剂量调配的步骤包括使第一化学反应气体以选定的第一剂量调配流量和以相对于所述第一剂量调配流量独立选定的第一剂量调配压力流过一个沉积室;

所述进行第一清理的步骤包括使第一清理气体以选定的第一清理流量和以相对于所述第一清理流量独立选定的第一清理压力流过所述沉积室;

所述进行第二化学试剂剂量调配的步骤包括使第二化学反应气体以选定的第二剂量调配流量和以相对于所述第二剂量调配流量独立选定的第二剂量调配压力流过所述沉积室;以及

所述进行第二清理的步骤包括使第二清理气体以选定的第二清理流量和以相对于所述第二清理流量独立选定的第二清理压力流过所述沉积室。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,

所述使第一化学反应气体以选定的第一剂量调配流量和以独立选定的第一剂量调配压力流动的步骤包括:控制所述第一化学反应气体进入所述沉积室的所述第一剂量调配流量;以及通过使抽取气体以第一剂量调配抽取气体流量流过一个位于所述沉积室下游的抽取控制室,并且控制所述第一剂量调配抽取气体流量以获得所述第一剂量调配抽取压力,从而独立地使所述第一化学反应气体排出所述沉积室的第一化学试剂抽出流量与所述第一剂量调配流量大致匹配;以及

所述使第一清理气体以所述选定的第一清理流量和以所述独立选定的第一清理压力流过所述沉积室的步骤包括:控制所述第一清理气体进入所述沉积室的所述第一清理流量;以及通过使抽取气体以第一清理抽取气体流量流过一个位于所述沉积室下游的抽取控制室,并且控制所述第一清理抽取气体流量以获得所述第一清理抽取压力,从而独立地使所述第一清理气体排出所述沉积室的第一清理抽出流量与所述第一清理流量大致匹配。

3. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述使第一化学反应气体以选定的第一剂量调配流量和以独立选定的第一剂量调配压力流动的步骤包括:控制所述第一化学反应气体进入所述沉积室的所述第一剂量调配流量;以及通过在所述沉积室的下游控制抽取压力独立且有意地使所述第一剂量调配流量和所述第一化学反应气体排出所述沉积室的第一化学试剂抽出流量失配,而所述沉积室中的所述第一剂量调配压力在压力转变期间发生显著变化以显著降低所述失配,从而使所述第一化学试剂抽出流量与所述第一剂量调配流量大致匹配。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,

所述使第二化学反应气体以选定的第二剂量调配流量和以独立选定的第二剂量调配压力流动的步骤包括:控制所述第二化学反应气体进入所述沉积室的所述第二剂量调配流量;以及使抽取气体以第二剂量调配抽取气体流量流过一个位于所述沉积室下游的抽取控制室和控制所述第二剂量调配抽取气体流量以获得所述第二剂量调配抽取压力;以及

所述使第二清理气体以所述选定的第二清理流量和以所述独立选定的第二清理压力流过所述沉积室的步骤包括:控制所述第二清理气体进入所述沉积室的所述第二清理流

量；以及使抽取气体以第二清理抽取气体流量流过一个位于所述沉积室下游的抽取控制室和控制所述第二清理抽取气体流量以获得所述第二清理抽取压力。

5. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述使第二化学反应气体以选定的第二剂量调配流量和以独立选定的第二剂量调配压力流动的步骤包括:

控制所述第二化学反应气体进入所述沉积室的所述第二剂量调配流量;以及

通过在所述沉积室的下游控制抽取压力独立且有意地使所述第二剂量调配流量和所述第二化学反应气体排出所述沉积室的第二化学试剂抽出流量失配,而所述沉积室中的所述第二剂量调配压力在压力转变期间发生显著变化以显著降低所述失配,从而使所述第二化学试剂抽出流量与所述第二剂量调配流量大致匹配。

6. 一种原子层沉积系统,包括:

一个原子层沉积室 (114),其包括一个基板保持器和一个加热器;

一个抽取气体导入室;

一个沉积室节流元件 (115),其以流体连通的方式串联在所述原子层沉积室与所述抽取气体导入室之间;

一个抽取气体源;

一个抽取源截止阀,其以流体连通的方式串联在所述抽取气体源与所述抽取气体导入室之间;

一个抽取源节流元件,其以流体连通的方式串联在所述抽取气体源与所述抽取气体导入室之间;

一个抽取控制室;

一个抽取气体导入室节流元件,其以流体连通的方式串联在所述抽取气体导入室与所述抽取控制室之间;

一个抽取控制出口,其以流体连通的方式串联着所述抽取控制室;

一个真空泵,其以流体连通的方式串联着所述抽取控制出口;

一个抽取控制节流元件 (117),其以流体连通的方式串联在所述抽取控制出口与所述真空泵之间;

多个化学气体源;

多个增压室 (107,107'),每个所述增压室均以流体连通的方式串联着一个相应的化学气体源;

多个化学试剂源节流元件 (106,106'),每个所述化学试剂源节流元件均以流体连通的方式串联在一个相应的化学气体源与一个相应的增压室之间;

多个化学试剂剂量调配截止阀 (110,110'),每个所述化学试剂剂量调配截止阀均以流体连通的方式串联在一个相应的增压室与所述原子层沉积室之间;

多个增压室节流元件 (109,109'),每个所述增压室节流元件均以流体连通的方式串联在一个相应的增压室与所述原子层沉积室之间;

一个清理气体源;

一个清理源截止阀,其以流体连通的方式串联在所述清理气体源与所述原子层沉积室之间;以及

一个清理源节流元件 (103),其以流体连通的方式串联在所述清理气体源与所述原子

层沉积室之间。

7. 如权利要求 6 所述的原子层沉积系统,其特征在于,还包括:

一个反应器容器 (800),其具有一个反应器容器壁 (802) 和一个容器内部 (808),其中,所述沉积室 (203)、所述抽取气体导入室 (820) 和所述抽取控制室 (208) 均被封入所述反应器容器中。

8. 如权利要求 7 所述的原子层沉积系统,其特征在于,还包括一个位于所述反应器容器中的周边狭槽阀 (850),所述周边狭槽阀包括:

一个基板传输狭槽 (852),其穿过所述反应器容器壁;

一个连续周边腔 (854),其位于所述反应器容器壁内;

一个连续周边密封提升头 (856);以及

一个致动器 (858),其用于在打开位置与关闭位置之间移动所述密封提升头;

其中,所述密封提升头当处于所述关闭位置上时移入所述周边腔中,当处于所述打开位置上时移出所述周边腔,所述基板传输狭槽与所述基板保持器 (205) 的基板支承面大致共面,所述周边腔与所述基板传输狭槽大致共面,所述基板传输狭槽当所述密封提升头处于所述打开位置上时限定了一条穿过所述反应器容器壁直至所述基板保持器的基板传输通道,并且所述密封提升头在其处于所述关闭位置上时将所述基板传输狭槽与所述容器内部隔开;

所述密封提升头当处于所述关闭位置上时在所述容器内部中形成处理气体流路的内密封壁 (862);

其中,所述内密封壁的一部分构成了所述抽取气体导入室 (820) 的一部分;

其中,所述周边狭槽阀还包括:

一个固定上侧周边密封面 (870);

一个上侧提升头周边密封面 (872),其与所述固定上侧周边密封面对应;

一个上侧外围密封件 (873);

一个固定下侧周边密封面 (874);

一个下侧提升头周边密封面 (876),其与所述固定下侧周边密封面对应;以及

一个下侧外围密封件 (877);

其中,所述上侧密封面、所述下侧密封面以及所述外围密封件被构造成在所述密封提升头处于所述关闭位置上时将所述容器内部密封起来。

ALD 装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及原子层沉积 (“ALD”) 领域, 特别地讲, 涉及用于以高产量和低成本实施 ALD 的系统和方法。

背景技术

[0002] 在半导体装置和其他许多实用装置的制作过程中, 通常需要进行薄膜沉积。众所周知的化学气相沉积 (“CVD”) 技术通过使用在反应室中起反应的化学活性分子在基板上沉积出预期的膜。可用于 CVD 应用场合的分子前体包括即将沉积出的膜的元素 (原子) 成分和典型附加元素。CVD 前体是实际上能够以气相形式传输以在基板上发生反应的挥发性分子。

[0003] 传统的 CVD 在现有技术中通过多种技术实施。预期的薄膜特性和低成本的操作参数会影响到装置、前体成分、压力范围、温度和其他变量的选择。有许多不同的装置和方法已经得到了成功地实现。绝大部分的 CVD 技术的共同之处是使一种或多种分子前体以可被良好控制的流量进入 CVD 反应器中。基板在良好控制的压力条件下被保持在良好控制的温度下, 以促进分子前体之间的化学反应同时又能高效率地解吸副产物。所述化学反应可继续进行, 从而可沉积出具有预期膜厚的预期薄膜。

[0004] 最佳的 CVD 性能与在整个处理过程中实现和保持流量、温度和压力的稳态条件的能力直接相关, 所述稳态条件就是在所述处理过程中, 不可避免的瞬变可得到抑制或最小化。CVD 已经可以提供具有可重复厚度和极好质量的均匀和形状顺应涂层。

[0005] 然而, 随着集成电路装置中的元件密度的增大和元件几何形状变得更为复杂, 对具有优良的形状顺应涂层特性的薄膜的需要已经受到了传统 CVD 技术的限制, 因此需要采用新技术。作为 CVD 的新出现的改型, 原子层沉积 (“ALD”) 可为高级薄膜沉积提供良好的厚度控制和形状顺应性。

[0006] ALD 通过将传统的薄膜沉积过程分成可自行终止的单原子层沉积步骤实施, 并且可在进行至或超过自行终止暴露时间时精确地沉积出一层原子层。一层原子层通常等于单分子层的大约 0.1-0.5。原子层的沉积是活性分子前体和基板之间发生化学反应的结果。在每个单独的 ALD 反应沉积步骤中, 净反应沉积出预期的原子层, 并将最初包含在分子前体中的 “额外的” 原子去除。

[0007] 在 ALD 应用中, 在单独阶段中通常有两种分子前体被导入所述 ALD 反应器中。例如, 金属前体分子 ML_x 包括金属元素 M (例如, $M = Al, W, Ta, Si$ 等), 所述金属元素与原子或分子配位体 L 结合。所述金属前体与所述基板反应。这种 ALD 反应仅在基板表面被准备好可直接与分子前体反应的情况下才发生。例如, 所述基板表面通常被准备好包含含氢的配位体 AH, 所述配位体 AH 可与所述金属前体发生反应。气体前体分子可有效地与所述基板表面上的所有配位体发生反应, 从而可沉积出金属原子层: $基板-AH+ML_x \rightarrow 基板-AML_{x-1}+HL$, 其中, HL 为反应副产物。在反应过程中, 表面上的初始配位体 AH 会被消耗掉, 并且该表面会变得覆盖着 L 配位体, 所述 L 配位体不能进一步与金属前体 ML_x 反应。因此, 当表面上的

所有初始的 AH 配位体被替换成 AML_{x-1} 物时,反应会自行终止。

[0008] 上述反应阶段之后通常紧跟着一个惰性气体清理阶段,所述惰性气体清理阶段在另一前体单独导入反应室中之前将金属前体从反应室中去除。

[0009] 然后,使用第二分子前体用于恢复基板表面对金属前体的活性。这种任务例如可通过将 L 配位体去除和再沉积 AH 配位体实现。在这种情况下,第二分子前体通常包括预期(通常为非金属)的元素 A(即, O、N 和 S)和氢(即, H_2O 、 NH_3 和 H_2S)。以下反应可将基板表面变回到覆盖着 AH 的状态: $基板-ML+AH_y \rightarrow 基板-M-AH+HL$ (在此,为了简单起见,化学反应没有被平衡)。预期的附加元素 A 包含在膜中,而不为预期的配位体 L 被作为挥发性副产物去除。上述反应会再次消耗反应活性部位(这时为 L 终止部位)和当基板上的反应活性部位被全部耗尽时反应会自行终止。然后,通过在第二清理阶段中流入惰性清理气体将第二分子前体从沉积室中去除。

[0010] 表面反应和将基板表面恢复到其初始反应状态的前体去除的顺序步骤是典型的 ALD 沉积周期。基板恢复到其初始状态是 ALD 的关键方面。这意味着,膜能够按均衡计量的顺序步骤层叠,所述顺序步骤在化学动力学、每周期的沉积、成分和厚度方面均相同。自饱和和表面反应可使 ALD 对传输非均匀性不敏感。这种传输非均匀性可能与流动系统的制造工艺和局限性有关,或者也可能与表面形貌特征(即,沉积到三维且长宽比较大的结构中)有关。化学试剂的非均匀流量只会导致不同区域的完成时间不同。然而,如果每次反应允许在整个基板表面上完成,不同的化学动力学过程的完成不会受到补偿。这是由于首先完成反应的区域可自行终止反应,而表面上的其余区域也能够完成反应和自行终止并基本上可追上先完成的反应。

[0011] ALD 的高效实施需要一种能够突然和快速地改变从 ML_x 至 AH_y 的化学试剂的流量的装置。而且,所述装置必须能够高效和可靠地多次循环执行这种顺序步骤,以有利于低成本地实现许多基板的涂层。通常,对于每个 ALD 周期来说,ALD 处理可沉积出厚度为大约 0.1nm 的膜。对于绝大部分的半导体应用场合来说,可用的和经济上可行的周期时间必须要能提供厚度介于大约 3nm-30nm 的膜,并且对于其他应用场合来说甚至要能提供更厚的膜。工业产量标准规定基板应在 2 分钟至 3 分钟的时间范围内处理完,这就意味着 ALD 周期时间必须在大约 0.6 秒至 6 秒的时间范围内。到目前为止,已有多种技术困难制约着用于制造半导体装置和其他装置的 ALD 系统和方法的低成本的实现。

[0012] 一般而言,ALD 处理需要顺次改变化学试剂至基板的流量。

[0013] 如上所述,典型的 ALD 处理需要四个不同的操作阶段:

[0014] 1. ML_x 反应;

[0015] 2. ML_x 清理;

[0016] 3. AH_y 反应;以及

[0017] 4. AH_y 清理。

[0018] 假设需要短的周期时间,适用于 ALD 的化学试剂输送系统必须能够在亚秒级的响应时间内改变要进入的分子前体的流量。而且,如果存在相当大的流量非均匀性,则这些非均匀性可通过将反应阶段时间增至承受最小流量的区域所要求的时间依靠化学反应的自行终止特性克服。然而,由于周期时间相应地增大而会必然导致产量下降。

[0019] 为了在任何给定的反应温度下均能使 ALD 反应达到自行终止所需要的时间最小

化,化学试剂进入ALD反应器的流量必须要被最大化。为了使化学试剂进入ALD反应器的流量最大化,在惰性气体的稀释作用最小和高的压力下将分子前体导入ALD反应器中非常有利。另一方面,对实现短的周期时间的需要要求这些分子前体必须快速地从ALD反应器中去除。快速去除又会要求ALD反应器中的气体停留时间应被最小化。气体停留时间 τ 与反应器容积 V 和ALD反应器中的压力 P 成正比,与流量 Q 成反比,即 $\tau = VP/Q$ 。因此,ALD反应器中压力(P)的降低有利于降低气体停留时间和增大将化学试剂前体从ALD反应器中去除(清理)的速度。相比而言,使ALD反应时间最小化要求通过在ALD反应器内使用高压使化学试剂前体进入ALD反应器中的流量最大化。此外,气体停留时间和化学试剂的利用效率与流量成反比。因而,尽管降低流量可增大利用效率,但是又会增大气体停留时间。

[0020] 现有ALD装置已经在努力地解决下面两者之间的折衷平衡问题,即对缩短反应时间和提高化学试剂利用效率的要求与对使清理气体停留时间和化学试剂去除时间最小化的要求。现有技术的某些ALD系统包含使用了多个阀的同步致动的化学试剂输送支管。在这些系统中,由于阀本身实际上不可能实现同步极好的致动,因此,不可能令人满意地消除流量偏移。这样,不可避免的流量偏移因可产生使化学试剂不利地混合的气体回流而变得极其不受欢迎。

[0021] 因此,需要这样一种ALD装置,即能够实现短的反应时间和良好的化学试剂利用效率,并且能够使清理气体停留时间和化学试剂去除时间最小化,同时又能防止产生回流。

[0022] 当使用传统的ALD装置时,“存储”效应可降低ALD反应器的效率。这种记忆效应是由于化学试剂具有以下倾向引起的,即化学试剂吸附在ALD反应器的壁上并且必然会在随后的一段时间内逐渐地从ALD反应器的壁上释放,所述时间段的长短取决于反应器的壁的吸附能和温度。这种现象往往会增大ALD反应器中的痕量化学试剂的停留时间。这样,记忆效应就会增大去除化学试剂所需的清理时间。因此,迫切需要一种能够使记忆效应最小化的ALD装置。

[0023] 在传统的ALD装置中的暴露给化学试剂的所有区域上均会生长出膜。特别地讲,膜的生长发生在接触化学试剂的反应室壁及基板上。在反应室壁上的膜的生长会在以下方面损害ALD装置的性能,即膜的生长会使ALD室的壁的面积增大。膜在ALD室壁上的生长倾向性与反应室壁的面积成正比。而且,面积的增大又会进一步延长ALD室的记忆效应。面积的增大是由劣质多孔膜沉积物的生长引起的。产生了多孔沉积物的膜生长由于可在孔内捕获化学试剂分子而会延长ALD室的记忆效应。因此,有必要构造出一种具有如下功能的ALD装置,即膜和沉积物的生长可被保持在最低水平上且任何确实要发生的膜的生长可被控制得只会沉积高质量的膜,所述高质量膜可有效地覆盖着ALD室壁而不会增大表面积或生长出多孔结构。因此,还需要这样一种ALD装置,即其能够使膜的生长最小化并可为任何允许发生的膜的生长作好控制准备。

[0024] 一种得到良好优化的ALD装置和方法被设计成这样,即可使ALD前体在基板上发生ALD沉积的反应空间中保持足够最小的共存。相比而言,假如产量没有显著地降低,ALD前体的不利共存实际上总会在位于ALD反应空间下游的系统空间中不可避免地存在。这种不利共存只有通过清理显著更大容积才能得以避免,从而会显著地降低ALD系统的产量。通常,共存于ALD室空间中的ALD前体趋向于产生劣质膜。结果,产量最优化的ALD系统具有这种倾向,即在与ALD反应空间紧邻着的下游空间中生长出劣质固体沉积物的倾向。由

于劣质膜可使表面积增大,而表面积增大又会增加前体的共存,因此劣质膜的生长会变得越来越厉害,从而会使问题变得更为严重。由于位于与 ALD 空间紧接着的下游处的一些化学试剂会(例如,通过扩散)返回至 ALD 反应空间中,因此 ALD 性能会遭到损害。此外,还会导致在基板上沉积出为劣质沉积物的颗粒。因此,以最大产量操作的传统的 ALD 系统注定会遭受很快的污染和 ALD 性能的迅速下降。

[0025] 由于产量最优化的 ALD 系统具有以下特征:在与 ALD 反应空间紧邻着的下游处有前体共存,因此,为了能在长和低成本维护周期过程中将这些 ALD 系统保持在最佳性能下,应对不可避免的膜在下游的沉积进行主动控制,以使膜具有足够好的质量和优选位置。在 ALD 反应空间下游进行的定位前体去除还能显著地降低下游构件例如泵、阀和测量仪器的磨损。

[0026] 冷、热捕集器已经广泛地用于在低于大气压的压力范围内将不希望的成分从下游流出物中去除,并且它们对于本领域的技术人员来说众所周知。其他技术也可用于这个目的,例如等离子体去除装置和停留时间延长捕集器。这些去除解决方法所用的装置中的许多种作为“交钥匙”设备可从商场上购买到,所述设备可适用于多种不同的系统。通常,这些去除装置为了永久(例如,通过化学反应沉积固体膜)或临时地有效捕获活性成分需要牺牲去除表面(abatement surface)。这些捕集器中的多数原则上可用于 ALD 系统的下游中。然而,鉴于安全考虑和对将去除装置无缝地集成在最优化的 ALD 系统中的要求,又会在相当大的程度上限制绝大部分去除技术的实际可行性和成本效率。

[0027] 原则上,出于安全方面的考虑,不允许通过冷捕集器实施 ALD 前体的化学去除。采用有利于 ALD 前体之间的反应的热捕集器需要考虑周详的设计和控制条件,以防止劣质膜的生长。典型的 ALD 前体组合物的某些特性会使热捕集器处理条件的设计特殊且难以控制;例如,用于 ALD 沉积 Al_2O_3 膜的前体 TMA 和 H_2O 。由于在 ALD 条件下的去除操作会对产量造成不可接受的损害,因此去除空间中反应物的共存是必然的。从而,很难避免劣质 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉积物的生长。抑制 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的生长以促进高质量 Al_2O_3 沉积物的生长需要将 H_2O 含量保持在非常低的水平上。由于 H_2O 的低反应性要求在高产量的处理中进行过量的剂量调配。温度水平限制于低于 350°C ,以避免 TMA 高温分解。TMA 的高温分解会促进碳化的和更不良氧化铝沉积物生长。

[0028] 而且,对其他 ALD 前体系统的严格检验表明典型的 AH_y 型前体必须要过量地供给,从而可产生会造成问题的劣质沉积物,例如氯氧化物和胺盐。因此,通常会不幸地观察到:ALD 前体组合物虽然能够沉积出质量极好的 ALD 膜,但是如果可在 CVD 条件下和 AH_y 前体的浓度非常高的典型排气条件下发生反应就会产生劣质膜。一般而言,CVD 沉积物的质量可通过升高温度和将 AH_y 前体的浓度保持在非常低的水平上而得到改善。

[0029] 一般化的 ALD 去除方法应适合于许多不同类型的 ALD 处理。美国专利申请公开文献 2002/0187084 描述了一种用于将 ALD 反应处理所排出的气体中的物质去除掉的方法,所述 ALD 反应处理包括将过量的反应物引导至牺牲材料,所述牺牲材料保持在与基板大致相同的反应条件下。然而,如果要使最佳的 ALD 产量不会降低,就必须通过限定措施使去除空间中的条件与 ALD 空间中的条件不同。特别地讲,当 ALD 空间被优化成可生长出高质量的 ALD 膜时,ALD 前体在去除空间中的共存却可促进劣质膜的沉积。去除表面的实际去除能力要求去除表面应由空隙度非常大的元件制成或者去除容积非常大。采用任何一种方法,产

生的去除空间均会趋向于使产生的非固体 ALD 前体积聚,这是由于在产量最优化的 ALD 处理中这些前体总是过量很多地使用。例如,用于由 TMA 和 H₂O 沉积出 Al₂O₃ 的 ALD 处理中的 H₂O 前体可在去除空间中积聚得具有相当大的局部压力,从而会促进劣质膜的沉积。如果劣质膜的沉积得过多, H₂O 的这种潜在的积聚就会加剧,并且积聚的 H₂O 返回反应空间的扩散可导致损害 ALD 性能。因此,如果没有提供可控制通常必须过量使用的 ALD 前体的积聚的装置,热捕集器,例如一种描述于美国专利申请公开文献 2002/0187084 中的热捕集器,并不是用于 ALD 去除的很好选择。对一般化的去除方法来说,还有必要提供这样一种一般化的去除装置,即其能够在多种条件下产生高质量膜的沉积。

[0030] 在现有的 CVD、PECVD 和 ALD 系统中,反应室中的气体滞留和气流扰动以及基板表面上产生的气流和气压的非均匀性通常会导致沉积出的薄膜的厚度和其他特性具有不利的非均匀性。在 ALD 中,假如具有适当长的剂量调配时间,在化学试剂剂量调配的过程中的气流和气压的非均匀性不会必然导致薄膜具有非均匀性。然而,气体滞留和气流扰动通常会严重和不利地影响清理步骤的效力。例如,在晶片处理的现有技术例如 CVD、蚀刻、ALD 和 PVD 中,与单个晶片处理室的壁中的晶片传输通道相关的“盲管段”空间是一个公知的问题。特别地讲,该空间的有效 ALD 清理通常是不可能的。单晶片沉积的现有技术已经为上述问题找到了多种补救方法。例如,于 1996 年 9 月 24 日授予 Zhao 等人的美国专利 No. 5558717 提出可有利地使用一种环形节流孔和环形抽气通道。这种环形设计需要相对较宽的处理室设计。在另一个实例中,于 2001 年 1 月 16 日授予 Doering 等人的美国专利 No. 6174377 描述了这样一种 ALD 室,即其被设计成将晶片装载在低的卡盘位置上,而晶片处理在高的卡盘位置上进行,从而可留出晶片传输通道,并且可使与晶片传输通道相关的流动扰动显著低于晶片要求的标准。这些现有技术的解决方法和其他现有技术的解决方法均不是很好地适合于解决 ALD 系统中的与基板传输机构相关的问题。

[0031] 因此,在化学试剂沉积处理中特别是在 ALD 技术中迫切需要一种这样的装置,即其能够向基板表面提供流量均匀和对称的化学试剂,并且可提供无盲管段晶片装载腔的光滑的流路结构。

发明内容

[0032] 根据本发明的实施例有助于解决上述问题中的一些问题。根据本发明的系统、装置和方法在化学处理中特别是在原子层沉积处理和系统中提供了流入流量和抽出流量的同步调节(“SMFD”)。

[0033] 原子层沉积(“ALD”)优选在以下条件下进行,即在清理过程中使用最大可能的通过沉积室的流量,在化学试剂的剂量调配过程中使用最小可能的流量。因此,根据本发明的 ALD 系统要在 ALD 周期中产生和提供相当大的流量调节。处理气体(惰性清理气体或化学反应气体)进入处理室(或 ALD 室或沉积室)的流量在此称为“流入流量”;气体排出处理室的流量在此称为“抽出流量”。在稳态情况下,抽出流量通常与流入流量相匹配。在瞬态流动情况下,流入流量和抽出流量“失配”。

[0034] 根据本发明的实施例的一个重要方面是,其解决了传统的 ALD 系统在以下方面的协调问题,即在沉积室的清理过程中要求高流量和在化学试剂剂量调配过程中要求低流量之间的矛盾。根据本发明的 SMFD 具有以下能力,即可以低压力和高清理气体流量清理处理

室,可随后以高压力和低的化学反应气体流量在处理室中执行化学试剂剂量调配,以及可使用很快的响应时间调节压力和气体流量。

[0035] 在一个方面,根据本发明的方法包括以下周期:进行第一化学试剂剂量调配的步骤,所述第一化学试剂剂量调配阶段包括使第一化学反应气体以选定的第一剂量调配流量和以独立选定的第一剂量调配压力流过一个沉积室;随后,通过使第一清理气体以选定的第一清理流量和以独立选定的第一清理压力流过所述沉积室进行第一清理的步骤;然后,进行第二化学试剂剂量调配的步骤,所述第二化学试剂剂量调配阶段包括使第二化学反应气体以选定的第二剂量调配流量和以独立选定的第二剂量调配压力流过所述沉积室;再后,通过使第二清理气体以选定的第二清理流量和以独立选定的第二清理压力流过所述沉积室进行第二清理的步骤。通常,所述第一清理气体与所述第二清理气体相同,并且由一个公用清理气体源供给。根据本发明的方法的固有特性是所述第一化学试剂剂量调配阶段、所述第一清理阶段、所述第二化学试剂剂量调配阶段以及所述第二清理阶段的执行均持续一段选定的且可控制的时间期限,所述时间期限在每个重复周期中保持相同。典型的四阶段周期通常被重复几十或几百次,以在 ALD 处理中沉积出单层薄膜。根据本发明的实施例的一个重要益处是周期中的每个阶段的持续时间通常比传统的 ALD 处理和系统中的实际可行的时间短很多,并且因此一个周期总的持续时间也比传统的 ALD 处理和系统中的实际可行的时间短很多。从而,顺次执行所述第一化学试剂剂量调配阶段、所述第一清理阶段、所述第二化学试剂剂量调配阶段以及所述第二清理阶段所需的时间通常小于 3 秒,优选小于 1 秒,更优选小于 0.5 秒。例如,通过周期时间仅为 450 毫秒(“毫秒”)的根据本发明的方法已经沉积出了极好的 Al_2O_3 的 ALD 薄膜。为了在保持良好的薄膜质量的前提下使产量最大化,所述四个阶段中的每个阶段的持续时间通常与其他阶段的持续时间不同。而且,周期中每个阶段的流量通常与其他阶段的流量不同。一般而言,所述第一清理流量大于所述第一剂量调配流量,并且所述第一清理流量与所述第一剂量调配流量之比一般大于 1.5,通常大于 20,优选大于 100。相似地,所述第二清理流量通常大于所述第二剂量调配流量,并且所述第二清理流量与所述第二剂量调配流量之比一般大于 1.5,通常大于 20,优选大于 100。

[0036] 另一方面,开始所述第一化学试剂剂量调配阶段包括起始使所述第一化学反应气体以第一瞬态流量流动,所述第一瞬态流量起始时显著大于所述第一剂量调配流量。又一方面,开始所述第二化学试剂剂量调配阶段包括起始使所述第二化学反应气体以第二瞬态流量流动,所述第二瞬态流量起始时显著大于所述第二剂量调配流量。

[0037] 另一方面,所述使第一化学反应气体以选定的第一剂量调配流量和以独立选定的第一剂量调配压力流动包括:控制所述第一化学反应气体进入所述沉积室的所述第一剂量调配流量和独立地使所述第一化学反应气体排出所述沉积室的第一化学试剂抽出流量与所述第一剂量调配流量大致匹配。又一方面,所述独立地使所述第一化学反应气体排出所述沉积室的所述第一化学试剂抽出流量大致匹配包括:在所述沉积室的下游控制第一剂量调配抽取压力。还一方面,所述控制所述第一剂量调配抽取压力包括:使抽取气体(draw gas)以第一剂量调配抽取气体流量流过一个抽取控制室和控制所述第一剂量调配抽取气体流量以获得所述第一剂量调配抽取压力,所述抽取控制室位于所述沉积室的下游。

[0038] 又一方面,所述使第一清理气体以所述选定的第一清理流量和以所述独立选定的

第一清理压力流过所述沉积室包括：控制所述第一清理气体进入所述沉积室的所述第一清理流量和独立地使所述第一清理气体排出所述沉积室的第一清理抽出流量与所述第一清理流量大致匹配。另一方面，所述独立地使所述第一清理气体排出所述沉积室的所述第一清理抽出流量大致匹配包括：在所述沉积室的下游控制第一清理抽取压力。还一方面，所述控制所述第一清理抽取压力包括：使抽取气体以第一清理抽取气体流量流过所述抽取控制室和控制所述第一清理抽取气体流量以获得所述第一清理抽取压力。

[0039] 另一方面，所述使第二化学反应气体以选定的第二剂量调配流量和以独立选定的第二剂量调配压力流动包括：控制所述第二化学反应气体进入所述沉积室的所述第二剂量调配流量和独立地使所述第二化学反应气体排出所述沉积室的第二化学试剂抽出流量与所述第二剂量调配流量大致匹配。又一方面，所述独立地使所述第二化学反应气体排出所述沉积室的所述第二化学试剂抽出流量大致匹配包括：在所述沉积室的下游控制第二剂量调配抽取压力。还一方面，所述控制所述第二剂量调配抽取压力包括：使抽取气体以第二剂量调配抽取气体流量流过所述抽取控制室和控制所述第二剂量调配抽取气体流量以获得所述第二剂量调配抽取压力。

[0040] 又一方面，所述使第二清理气体以所述选定的第二清理流量和以所述独立选定的第二清理压力流过所述沉积室包括：控制所述第二清理气体进入所述沉积室的所述第二清理流量和独立地使所述第二清理气体排出所述沉积室的第二清理抽出流量与所述第二清理流量大致匹配。另一方面，所述独立地使所述第二清理气体排出所述沉积室的所述第二清理抽出流量大致匹配包括：在所述沉积室的下游控制第二清理抽取压力。还一方面，所述控制所述第二清理抽取压力包括：使抽取气体以第二清理抽取气体流量流过所述抽取控制室和控制所述第二清理抽取气体流量以获得所述第二清理抽取压力，所述抽取控制室位于所述沉积室的下游。

[0041] 另一方面，所述使第一化学反应气体以选定的第一剂量调配流量和以独立选定的第一剂量调配压力流动包括：控制所述第一化学反应气体进入所述沉积室的所述第一剂量调配流量和通过在所述沉积室的下游控制抽取压力独立且有意地使所述第一剂量调配流量和所述第一化学反应气体排出所述沉积室的第一化学试剂抽出流量失配，而所述沉积室中的所述第一剂量调配压力在压力转变期间发生显著变化以显著降低所述失配，从而使所述第一化学试剂抽出流量与所述第一剂量调配流量大致匹配。

[0042] 又一方面，所述使第二化学反应气体以选定的第二剂量调配流量和以独立选定的第二剂量调配压力流动包括：控制所述第二化学反应气体进入所述沉积室的所述第二剂量调配流量和通过在所述沉积室的下游控制抽取压力独立且有意地使所述第二剂量调配流量和所述第二化学反应气体排出所述沉积室的第二化学试剂抽出流量失配，而所述沉积室中的所述第二剂量调配压力在压力转变期间发生显著变化以显著降低所述失配，从而使所述第二化学试剂抽出流量与所述第二剂量调配流量大致匹配。

[0043] 另一方面，所述使第一化学反应气体流过所述沉积室包括：提供一个具有已知第一源压力的第一反应气体源和使所述第一化学反应气体从所述第一反应气体源通过第一源节流元件（“FRE”）流入所述沉积室。

[0044] 又一方面，所述使第二化学反应气体流过所述沉积室包括：提供一个具有已知第二源压力的第二反应气体源和使所述第二化学反应气体从所述第二反应气体源通过第二

源 FRE 流入所述沉积室。

[0045] 还一方面,根据本发明的方法优选还包括:在除所述第一化学试剂剂量调配阶段之外的时间期限内使所述第一化学反应气体以大致所述已知第一源压力充满第一增压室(first boosterchamber),所述第一增压室位于所述第一源 FRE 的下游和所述沉积室的上游;以及通过打开第一化学试剂剂量调配截止阀开始所述第一化学试剂剂量调配阶段,所述第一化学试剂剂量调配截止阀以流体连通的方式串联在所述第一增压室与所述沉积室之间,从而起始时可使所述第一化学反应气体以第一瞬态流量流动,所述第一瞬态流量起始时显著大于所述第一剂量调配流量。

[0046] 又一方面,根据本发明的方法优选还包括:在除所述第二化学试剂剂量调配阶段之外的时间期限内使所述第二化学反应气体以大致所述已知第二源压力充满第二增压室(second boosterchamber),所述第二增压室位于所述第二源 FRE 的下游和所述沉积室的上游;以及通过打开第二化学试剂剂量调配截止阀开始所述第二化学试剂剂量调配阶段,所述第二化学试剂剂量调配截止阀以流体连通的方式串联在所述第二增压室与所述沉积室之间,从而起始时可使所述第二化学反应气体以第二瞬态流量流动,所述第二瞬态流量起始时显著大于所述第二剂量调配流量。

[0047] 在一个方面,根据本发明的装置能够同步调节处理室中的气体的流入流量、抽出流量及压力。“同步”在此意思是指在快速且可控制的情况下连续顺次地和以短的响应时间以及在可使压力或气体流量的不可控制的偏移最小的情况下执行调节操作。根据本发明的系统包含一个这样的装置,即其能够调节气体进入处理室(“PC”)的流入流量,并且能够在显著地调节 PC 中的气体的所述流入流量和停留时间的情况下同时和独立地使所述气体排出所述处理室的抽出流量与所述流入流量大致匹配,以在整个沉积过程中保持着大致稳定的压力。提供大的流入流量调节可使清理和剂量调配阶段获得独立优化,并且是利用 SMFD 的重要益处。然而,在某些实施例中,除了所述流入流量调节以外,还进行了一些有限的有意压力调节,特别是在化学试剂剂量调配的过程中预期压力增加。如果与流入流量调节同步进行的抽出流量调节有些预定的失配,则这种压力调节可以得到实现。在设计良好的 SMFD 装置和方法中不会产生回流的所述失配可使 PC 中的压力在压力转变期间发生变化,以达到流入流量与抽出流量的匹配,从而实现同步压力调节。

[0048] 另一方面,根据本发明的装置包含:一个处理室;一个处理气体导管,其连接着所述处理室,并且用于控制进入所述处理室的气体的流量;一个抽取控制室(“DC”),其被构造用于抽取气体流;一个处理室节流元件(“FRE”),其以流体连通的方式串联在所述处理室与所述抽取控制室之间;一个抽取排气管,其以流体连通的方式串联着所述抽取控制室;以及一个抽取控制 FRE,其以流体连通的方式串联着所述抽取排气管。一般而言,FRE 被设计成在气体流路中提供某一传导率(或相反,流阻)。又一方面,根据本发明的系统还包含一个抽取源截止阀,其用于控制抽取气体通过所述抽取控制室的流动。还一方面,SMFD 系统包含一个抽取源 FRE,其以流体连通的方式串联着所述抽取源截止阀和所述抽取控制室。另一方面,SMFD 系统还包含多个处理气体截止阀,它们以流体连通的方式串联着所述处理气体导管,并且每个所述处理气体截止阀分别被构造用于控制处理气体进入所述处理室的流入。还一方面,一个相应的处理气体截止阀包括一个清理源截止阀,所述清理源截止阀以流体连通的方式串联着所述处理室,用于控制清理气体至所述处理室的流动。另一方面,

SMFD 系统还包含一个清理源 FRE, 其以流体连通的方式串联着所述清理源截止阀。又一方面, SMFD 系统还包含多个处理气体 FRE, 每个所述处理气体 FRE 分别以流体连通的方式串联着一个相应的处理气体截止阀。另一方面, SMFD 系统还包含多个增压室, 每个所述增压室分别以流体连通的方式串联着所述处理气体导管, 并且每个所述增压室分别位于一个相应的处理气体截止阀的上游和一个相应的处理气体 FRE 的下游。还一方面, SMFD 系统还包含多个增压室 FRE, 每个所述增压室 FRE 分别位于一个相应的增压室的下游。另一方面, SMFD 系统还包含: 一个气体分配室, 其以流体连通的方式串联在所述处理气体截止阀与所述处理室之间, 并且以流体连通的方式串联在所述清理源截止阀与所述处理室之间; 以及一个气体分配 FRE, 其以流体连通的方式串联在所述气体分配室与所述处理室之间。又一方面, 所述气体分配 FRE 包括一个喷嘴阵列。另一方面, 所述喷嘴阵列包括多个长宽比不小于 1.5 的喷嘴。

[0049] 又一方面, 根据本发明的系统还包含: 一个清理排气管, 其以流体连通的方式串联着所述气体分配室; 以及一个清理排气截止阀, 其以流体连通的方式串联在所述气体分配室与所述清理排气管之间。另一方面, SMFD 系统还包含一个清理排气 FRE, 其以流体连通的方式串联着所述清理排气截止阀。还一方面, 一些所述处理气体截止阀包括一个具有多个非公共端口和多个公共端口的多通阀, 每个所述非公共端口分别以流体连通的方式串联着一个处理气体源, 多个所述公共端口以流体连通的方式串联着所述处理室, 并且至少一个相应的公共端口以流体连通的方式串联着一个清理源截止阀。

[0050] 在一些优选实施例中, 根据本发明的装置还包含一个抽取气体导入室 (“DGIC”), 其以流体连通的方式串联在所述处理室与所述抽取控制室之间; 一个抽取源截止阀, 其用于控制抽取气体进入所述 DGIC 的流动; 一个处理室 FRE, 其位于所述处理室与所述 DGIC 之间; 一个 DGIC-FRE, 其位于所述 DGIC 与所述抽取控制室之间; 另一方面, 根据本发明的系统还包含一个抽取源 FRE, 其以流体连通的方式串联着所述抽取源截止阀和所述 DGIC;

[0051] 另一方面, 根据本发明的系统还包含一个去除表面, 其位于所述抽取控制室中。又一方面, 根据本发明的系统还包含一个活性气体入口, 其用于将活性气体导入所述抽取控制室中以增强化学试剂去除效果。另一方面, 所述活性气体入口包括一个与所述抽取控制室接近的活性气体增压腔。还一方面, 根据本发明的系统还包含一个去除室 (abatement chamber), 其位于所述抽取控制室的下游。

[0052] 又一方面, 根据本发明的系统还包含一个压力控制室, 其位于所述抽取控制室的下游, 并且以流体连通的方式串联着所述抽取控制室和所述抽取排气管。另一方面, 所述处理室是一个原子层沉积室 (“ALDC”)。

[0053] 另一方面, 根据本发明的系统包含一个反应器容器, 其具有反应器容器壁和容器内部, 并且所述沉积室、所述 DGIC 和所述抽取控制室均被封入所述容器内部中。

[0054] 还一方面, 根据本发明的系统包含一个含有一个周边狭槽阀 (“PSV”) 的反应器容器, 其中, 所述周边狭槽阀包含一个穿过所述反应器容器壁的基板传输狭槽、一个位于所述反应器容器壁内的连续周边腔、一个连续周边密封提升头以及一个用于在打开位置与关闭位置之间移动所述密封提升头的致动器, 其中所述密封提升头当处于所述关闭位置上时移入所述周边腔中, 当处于所述打开位置上时移出所述周边腔, 所述基板传输狭槽与所述基板保持器的基板支承面大致共面, 所述周边腔与所述基板传输狭槽大致共面, 所述基板传

输狭槽当所述密封提升头处于所述打开位置上时限定了一条穿过所述反应器容器壁直至所述基板保持器的基板传输通道,并且所述密封提升头在其处于所述关闭位置上时将所述基板传输狭槽与所述容器内部隔开。

[0055] 在一些实施例中,处理室(或ALD室)中的压力在同步的流入流量-抽出流量调节的过程中保持大致恒定。在根据本发明的其他实施例中,产量和材料利用率通过以较高的压力执行一个或多个化学试剂剂量调配阶段可得到进一步地提高。例如,在一些实施例中,在清理阶段中的压力保持在大约30mTorr-100mTorr的范围内,而在化学试剂剂量调配的过程中ALD压力保持在200mTorr-1000mTorr的范围内。

[0056] 另一方面,根据本发明的实施例通过使处理气体流入处理室和使抽取控制气体流入抽取控制室来控制处理室中的压力,其中所述抽取控制室以流体连通的方式串联着所述处理室并且位于所述处理室的下游,从而可在所述处理室的下游控制抽取压力。又一方面,使抽取控制气体流入所述抽取控制室包括:使活性气体流入以增强所述抽取控制室中的化学试剂去除效果。还一方面,抽取压力被控制小于1个大气压,通常小于5Torr。

附图说明

[0057] 通过参照附图可更完全地理解本发明,附图包括:

[0058] 图1示出了根据本发明的同步调节流入流量抽出流量(“SMFD”)型ALD系统的基本实施例的流路图;

[0059] 图2以示意形式示出了根据本发明的SMFD型ALD反应器容器的剖视图;

[0060] 图3示出了当喷头采用孔眼型和优选管型喷嘴阵列设计时的喷嘴压力的计算值与化学试剂剂量调配流量之间关系的曲线图。

[0061] 图4示出了以下两种情况下的喷头和沉积室的相对化学试剂剂量调配(用化学反应气体替换惰性清理气体)与化学试剂剂量调配时间之间关系的曲线图,即在化学试剂剂量调配阶段的起始时具有和没有增压室产生的化学试剂瞬态脉冲,图中显示出了增压室对化学试剂剂量调配效率的作用;

[0062] 图5示出了一个曲线图,图中比较了根据本发明的ALD的实施例中的实际的化学试剂使用与现有技术中的传统连续流动处理;

[0063] 图6以示意形式示出了通过根据本发明的SMFD型ALD系统的各种气流;

[0064] 图7以曲线图的形式示出了当Q3设定为1100sccm时Q1、Q2和Q4与时间之间的计算关系曲线(参看图6);

[0065] 图8示出了当(图6中的)Q3为1100sccm时沉积室压力、抽取控制室压力以及它们之间的压力差 ΔP 与时间之间的关系曲线;

[0066] 图9以示意形式示出了一种根据本发明的示例的化学试剂去除元件的设计;

[0067] 图10示出了根据本发明的ALD系统的流路图,所述ALD系统在所述抽取控制室的下游包括一个单独的去除室;

[0068] 图11示出了根据本发明的ALD系统的流路图,所述ALD系统包括一个主动压力控制室;

[0069] 图12以示意形式示出了一种根据本发明的包括一个DGIC的示例SMFD型ALD系统;

[0070] 图 13 示出了一种根据本发明使用的多端口气体导入阀；

[0071] 图 14 为一个三维图，示出了在使用根据本发明的 SMFD 型 ALD 装置和方法沉积出了 Al_2O_3 的 200 毫米的晶片基板上的薄膜厚度与晶片位置之间的关系；

[0072] 图 15 以示意形式示出了根据本发明的包含一个 DGIC 和一个 PSV (处于关闭位置) 的 ALD 反应器容器的优选实施例的剖视图；

[0073] 图 16 示出了图 15 中的所述反应器容器，其中 PSV 处于打开位置；以及

[0074] 图 17 以示意形式示出了一种被设计用于处理室中为非中心对称流动的根据本发明的 SMFD 系统。

具体实施方式

[0075] 下面，参看图 1-17 描述本发明。为了清楚起见，在不同附图中使用相同的附图标记表示相似或相同的构件。应当理解，在图 1-17 中以示意形式示出的结构和系统起着说明目的，而不是对根据本发明的实际结构和系统的精确描述。而且，在此描述的实施例是示例性的，而不是用于限制本发明的范围，本发明的范围由权利要求书限定。下面，主要参照用于在单个 200 毫米的晶片基板上进行原子层沉积的系统和方法来描述根据本发明的实施例。可以理解，本发明可用于较大或较小尺寸的晶片基板，并且以下描述的尺寸和操作变量能够适当地增大或减小。

[0076] 原子层沉积 (“ALD”) 优选在以下条件下进行，即在清理过程中使用最大可能的通过沉积室的流量，在化学试剂的剂量调配过程中使用最小可能的流量。因此，高效的 ALD 系统能够产生和提供相当大的流量调节。在稳态情况下，处理气体 (惰性清理气体或化学反应气体) 进入沉积室的流量与处理气体排出沉积室的流量相匹配，其中，前者在此称为 “流入流量”，后者在此称为 “抽出流量”。

[0077] 为了提供相当大的流量调节，根据本发明的系统能够大致地匹配流入流量和抽出流量。例如，典型的 ALD 周期包含以下顺序步骤：气体流量分别为 10sccm、1000sccm、5sccm 和 1000sccm 的化学试剂 A 的剂量调配、化学试剂 A 清理、化学试剂 B 的剂量调配和化学试剂 B 清理。如果抽出流量可被控制成以大致相同的流量进行同步调节，处理压力就可保持大致稳定。

[0078] 当抽出流量调节不与流入流量调节大致匹配时，所述系统不能保持处理压力。实际上，所述系统会不可避免地瞬间变化到显著不同的压力，该压力可使流入流量和抽出流量匹配。

[0079] 进入沉积室或其他类型的处理室的流入流量通常使用上游支管进行控制，与处理压力大致无关。抽出流量通常由处理室出口的传导率 C_{PC} 和出口两侧的压力差 $\Delta P = P_{PG} - P_{Draw}$ 决定。因此，抽出流量 = $C_{PC} \Delta P$ 。一般而言，抽出流量调节能够通过调节传导率 C_{PC} 或压力差 ΔP 或调节两者来实现。在处理室之外调节传导率通常用于使用称为节流阀的机械装置的处理流系统例如 CVD、PVD 和蚀刻系统的技术领域。尽管节流阀在上述系统中已经能够充分地用于控制稳态压力，但是它们普通太慢而不能提供 SMFD 系统中所要求的快速响应时间。此外，节流阀可引起不良的流动扰动和产生颗粒。为了消除流动扰动和颗粒产生问题，节流阀通常传统上在距处理区相当远的下游位置处使用。然而，一种优选的 ALD 系统设计通过强制使抽出流量控制器的位置接近基板而能使 ALD 沉积室的容积最小化。其

他用于调节传导率的方法例如改变处理室出口的温度在范围上受到很大限制并且非常慢。最后,抽出流量调节可通过调节真空泵的抽气速率实现。然而,相当大的抽气速率调节响应缓慢,并且如果试图获得预期的切换速率还会显著地磨损泵。

[0080] 因此,最适合于抽出流量调节的根据本发明的方法是 ΔP 调节。在将处理室压力 P_{PC} 保持大致恒定的前提下的 ΔP 调节是通过根据本发明调节 P_{Draw} 实施的。例如,抽取控制室 (DC) 位于处理室的下游,并且所述抽取控制室具有一个传导率为 C_{Draw} 的出口。通过对气体进入和通过所述抽取控制室时的流动进行控制, P_{Draw} 能够在独立于上游的处理室或沉积室中的压力 P_{PC} 的情况下得到控制。进入所述抽取控制室的气体流量是从所述处理室抽出的气体流量与直接介入的抽取气体流量之和。由于抽出流量是 ΔP 的函数,因此 ΔP 的独立控制可使抽出流量在独立于流入流量的情况下与流入流量匹配。由于原则上所述抽取控制室能够做得非常小,因此在某些实施例中的 ΔP 调节可以亚毫秒的速度执行。本发明的某些实施例能够有利地使用小容积 DC 室实施,以有利于实现具有非常短的瞬态时间的处理条件。其他实施例有利地牺牲抽取控制速度,以提供显著较大的抽取控制室。容积为几升的抽取控制室可用于捕获或去除化学试剂。这样,就会使典型的 200 毫米的晶片沉积系统中的抽取控制响应时间介于 10 毫秒 -20 毫秒的范围内,但可使其具有大约 3 升的可用抽取控制室空间所带来的益处。尽管这种“较慢的”抽取控制响应时间通常会使沉积室中的压力在化学试剂的剂量调配阶段的结束之际发生大约 5% -15% 的变化,但模拟和实际操作结果均表明这些压力变化对 ALD 性能的影响微乎其微。不可避免的处理压力变化与以下因素有关,即 ALD 室在大的清理流量开始时的通常较短 (例如,2 毫秒 -4 毫秒) 的响应时间与所述抽取控制室的较长 (例如,10 毫秒 -20 毫秒) 的响应时间之间存在差别。在某些实施例中,通过使用这样一种小抽取控制室 (例如,40 毫升),即在其下游设有一个单独的附加去除室,可同时提供快速响应抽取控制室和大容积去除室。在这种情况下,由于抽取控制室 FRE 上的压力下降可以优选很大,因此附加去除室中的停留时间可通过使用大容积去除室而被保持得足够长。例如,如果在抽取控制室 FRE 上压力下降了 10 倍,去除室就必须变大 10 倍,以提供相似的有效去除效果,这时去除室的容积通常要取 10 升 -50 升而不是 1 升 -5 升。这种尺寸对比说明了降低理想 SMFD 性能带来的益处,从而可认为在绝大部分情况下足以实现在抽取控制室中捕获或去除化学试剂。另外,当抽取控制室只用作抽取控制的目的 (意思是说它们非常小) 时,应当注意将 ALD 清理阶段延长到可清理抽取控制室,以保证在抽取控制室中不会生长出劣质膜。由于这些室能够做成具有 30cc-70cc 的容积来用于典型的 200 毫米的晶片系统,并且这些室由于大的抽出流量在化学试剂的剂量调配过程中能够显著地稀释化学试剂而还会承受非常小的局部的化学试剂压力,因此上述情况对产量的影响微乎其微 (假如抽取控制室流路设计得非常合理并且抽取控制室壁被控制在合适的温度下)。

[0081] ΔP 调节的响应时间与 P_{DC} 调节的响应时间直接相关,并且取决于 DC 容积、DC 出口的传导率和流入流量。

[0082] 图 1 示出了根据本发明的同步调节流入流量抽出流量 (“SMFD”) 的 ALD 系统 100 的基本实施例的流路图。

[0083] ALD 系统 100 包括一个压力稳定的惰性清理气体源 101。清理气体通过清理源截止阀 102 和清理源节流元件 (“FRE”) 103 供给气体分配室 104,所述气体分配室 104 通常为

一个传统喷头。如图 1 所示,清理源截止阀 102 和清理源 FRE 103 在清理气体源 101 与气体分配室 104 之间提供了连续流体连通。在这里,节流元件 (FRE) 可在气体流经它们时使气体压力降低。一种化学反应物前体在多个化学气体源 105、105' 处被以良好控制的压力提供,所述化学反应物前体采用下述形式:纯化学气体,源于液体或固体化学试剂的蒸气,或者蒸气或气体化学试剂与惰性气体的混合物。化学气体源 105 通过化学试剂源 FRE 106 以流体连通的方式串联着增压室 107。增压室 107 通过化学试剂剂量调配截止阀 110 和增压室 FRE 109 以流体连通的方式串联着气体分配室(喷头)104。气体分配室 104 通过增压室 FRE 109、清理排气截止阀 108 和清理排气 FRE 111 以流体连通的方式串联着清理排气管 112。如图 1 所示,化学试剂剂量调配截止阀 110 和清理排气截止阀 108 在系统 100 的气体支管系统的并联支路中均包括一个普通的二通阀,所述并联支路从接点 123 分叉。

[0084] 如图 1 所示,第二化学气体源 105' 通过使用与参照化学气体源 105 描述的装置相同的装置与喷头 104 和清理排气管 112 连接。

[0085] 气体分配 FRE 113 在气体分配室 104 与原子层沉积室(“沉积室”)114 之间提供连续流体连通。在气体分配室 104 是一个喷头装置的优选实施例中,气体分配 FRE 113 通常为喷嘴阵列 113。喷嘴阵列用于从气体分配室 104 向沉积室 114 提供限制的和均匀的流动,其中,所述沉积室 114 含有一个正被处理的基板。沉积室 114 通过沉积室 FRE 115 以流体连通的方式串联着抽取控制室 116。抽取控制室 116 包括一个抽取控制出口 124,其通过抽取控制 FRE 117 和真空管 118 以流体连通的方式串联着真空泵 125。抽取气体源 101 通过抽取气管 119、抽取源截止阀 120 和抽取源 FRE 121 以流体连通的方式串联着抽取控制室 116。

[0086] 在典型的 ALD 操作过程中,系统 100 基本上是在两种静态模式即一种清理模式和一种化学试剂剂量调配模式之间进行切换的。ALD 操作的两种基本模式的代表性的阀设置如表 1 所示。

[0087] 表 1

[0088]

模式	阀 102	阀 120	阀 110	阀 108
清理	开	关	关	开
化学试剂剂量调配	关	开	开	关

[0089] 为了清楚起见,以稳定压力处理的情况来描述用于操作 SMFD 系统的方法。如前部分所述,这种模式通常可在关键应用场合中产生很好的结果。而且,如上所述,可以理解,ALD 处理通常包括一个具有至少四个不同阶段的周期,所述周期顺次重复执行多次,以沉积出预期的薄膜。参看表 1 和图 1 描述的上述两种模式是典型的四阶段周期中的化学试剂剂量调配阶段和清理阶段的代表。在清理模式中,在清理气体源 101 的已知清理源压力下,FRE103 和 113 被设计用于从清理气体源 101 向气体分配室 104 输送预期流量 Q_{purge} 的清理气体;然后清理气体通过气体分配室 104、沉积室 114 和抽取控制室 116 进入抽取控制出口

124 ;随后在喷头压力 $P_{\text{purge}}^{\text{SH}}$ 和 ALD 沉积室压力 P_{114} 保持不变的情况下通过 FRE 109 和清理排气截止阀 108 到达清理排气管 112。在化学试剂剂量调配模式中,在化学气体源 105 的已知压力下,FRE 106 和 109 被设计成将化学反应气体通常以化学试剂剂量调配流量 Q_{CD} 输送到气体分配室(喷头)104,其中, Q_{CD} 优选显著小于 Q_{purge} 。这种较低流量同时还伴随着较低的喷头压力 $P_{\text{CD}}^{\text{SH}}$ 。由于沉积室 114 和气体分配室 104 中对应的压力 P_{114} 、 P_{104} (通常以 mTorr 的单位测量)均显著地低于化学气体源 105 的压力(通常以 Torr 的单位测量),因此 FRE 106、109 通常被设计成这样,即化学试剂剂量调配流量 Q_{CD} 实际上与压力 P_{114} 和 P_{104} 独立。在化学试剂剂量调配模式中,在已知抽取气体源压力下的抽取气体源 101 通过 FRE 121 将抽取气体以预期的抽取气体流量供给抽取控制室 116。根据本发明,抽取气体源 101 的抽取气体源压力和 FRE 121 决定了通过抽取控制室 116 的抽取气体流量。这种抽取气体流量和 FRE 117 在抽取控制室 116 中建立了化学试剂剂量调配抽取压力。所述抽取压力随着抽取气体流量增加而增加。沉积室 114 与抽取控制室 116 之间的压力差以及 FRE 115 的传导率共同决定从沉积室 114 排出的处理气体的抽出流量,所述处理气体包括未反应的化学试剂前体。从沉积室 114 进入并通过抽取控制室 116 的处理气体的抽出流量还会稍微地增大通过抽取控制室 116 的气体总流量,因此会增大抽取压力。抽取控制室 116 中的化学试剂剂量调配的抽取压力的增大会降低从沉积室 114 进入并通过抽取控制室 116 的抽出流量。相反,抽取控制室 116 中的化学试剂剂量调配的抽取压力的降低会增大从沉积室 114 进入并通过抽取控制室 116 的抽出流量。

[0090] 在根据本发明的优选实施例中,除了所述两种静态模式即清理模式和稳态化学试剂剂量调配模式以外,还在化学试剂剂量调配的起始动作中设计了一种重要的瞬态(过渡)模式。起始瞬态流量由来自增压室 107 的化学气体流产生。在截止阀 110 关闭后的指定时间内可达到平衡,增压室 107 中的压力等于化学气体源 105 的压力,即 $P_{107}^{\text{static}} = P_{105}$ 。当截止阀 110 打开时,在稳态条件下,增压室 107 中的稳态压力 P_{107}^{SS} 由于 FRE 106 上的压力梯度而会小于 P_{105} 。当截止阀 110 被致动打开时,增压室 107 中的起始压力从 P_{105} 瞬间降低到稳态压力 P_{107}^{SS} 。化学反应气体在化学试剂剂量调配的过程中进入气体分配室 104 的流入流量由增压室 107 的压力和 FRE109 的传导率决定。增压室 107 的压力瞬变可引起气体分配室 104 的压力瞬变。这样,在增压室 107 的压力瞬变过程中,化学反应气体进入沉积室 114 的相应的流入流量为逐渐降至稳态流量的起始脉冲式流量。同时,抽取控制室 116 中的抽取压力为瞬间下降的起始脉冲式压力。瞬态时间由抽取控制室 116 的容积、抽出流量和 FRE 117 的传导率共同决定。在抽取控制室 116 的压力瞬变过程中,沉积室 114 的抽出流量也会跟随着发生下降瞬变。通过对 FRE 106、109 和 117 中的每个 FRE、抽取控制流量以及增压室 107 和抽取控制室 116 的容积进行选择设计,使瞬态流入流量和瞬态抽出流量相互匹配,以使沉积室 114 中的压力偏移最小化。然而,本发明的一个重要方面是,即使在瞬态时间常数不能很好地匹配并且各个不同阀的动作不能很好地同步的情况下也可通过 SMFD 系统(特别是在稳定压力下操作时)固有地抑制压力偏移。事实上,本发明的一些实施例中所述的使用 SMFD 的主要优点是能够在非常便利和低成本的情况下使性能对装置和处理过程的缺陷不敏感。

[0091] 优选地,剂量调配步骤被设计用于使化学试剂流量最大化和使化学试剂的使用量最小化。例如一个极端实例,一种用于处理 200 毫米的晶片的典型的 300cc-400cc 的 ALD 室

在 200mTorr 的化学试剂剂量调配压力下实际上不会损耗化学试剂。因此,在 200mTorr 的压力下执行 100% 的化学试剂剂量调配除了增压室的作用以外通常只需要非常小的另外的化学试剂剂量调配流量。实际上,我们已发现,在 200mTorr 的压力下执行未稀释前体的剂量调配的条件下,除了用于在 300°C 下进行 Al_2O_3 的 ALD 的三甲基铝 (“TMA”) 的增压室剂量调配以外的另外的剂量调配的影响作用小于 2%。因此,使用典型的小于 10sccm 的 TMA 稳态流量足以实现最优化的 ALD 性能。

[0092] 在化学试剂剂量调配阶段中的稳态流量通常是清理阶段中的清理气体流量的 1/10-1/100。因此,用于建立化学试剂剂量调配的稳态的时间会长得不可接受。为了避免上述情况对产量的不良影响,根据本发明的实施例的有效化学试剂剂量调配步骤可用于在化学试剂剂量调配步骤的起始阶段提供起始非常大的化学试剂流量。因此,起始流量的瞬变可显著地降低化学试剂剂量调配阶段的响应时间。这种响应时间的降低对于提高 ALD 处理的效率和产量非常重要。在化学试剂剂量调配阶段的起始瞬态部分中,气体分配室 104 和沉积室 114 的容积会被处于起始高压力和相应的起始高瞬态流量下的化学气体脉冲很快地充满。在化学试剂剂量调配过程中的起始瞬态流量通常被调节成与之前的清理阶段中的惰性清理气体流的清理流量匹配。因此,可保持流动的连续性。由于化学气体在起始高的化学试剂剂量调配流量的作用下流过气体分配室 104 和沉积室 114 时的停留时间非常短,因此气体分配室 104 和沉积室 114 会很快地充满化学气体。增压室容积和增压室 FRE 被选择性设计成在化学试剂剂量调配的起始阶段与抽取控制室的压力的增加大致匹配。增压室容积还被设计成可提供大小为 ALD 室在剂量调配过程中的容积与压力乘积的 1-2 倍的增压室总接触量。例如,如果沉积室容积为 400cc 和剂量调配压力为 200mTorr,则增压室容积被设计成可提供 $0.08\text{L} \times \text{Torr} - 0.16\text{L} \times \text{Torr}$ 的增压室总接触量。当 ALD 系统 100 从化学试剂剂量调配模式切换到清理模式时,瞬变通常会较不重要。气体分配室 104 的相对较小的容积再加上 FRE 103 的相对较大的传导率可使气体分配室 104 的压力快速地达到 $P_{\text{purge}}^{\text{SH}}$ 。当使用小容积的抽取控制室时,抽取控制室 116 中的压力从化学试剂剂量调配抽取压力降至清理抽取压力的时间远小于清理停留时间,并且从剂量调配切换到清理的操作需要几毫秒的时间。然而,当抽取控制室的容积较大时,抽取控制室的压力下降的响应时间比处理室中的清理停留时间长。例如,在用于 200 毫米的晶片上的 ALD 的典型处理中,处理室中的气体停留时间为 3 毫秒。在化学试剂剂量调配与清理之间的抽取压力调节范围为总抽取压力的 10% -20%。通常,容积为 1 升 -5 升的抽取控制室便于将去除能力集成到所述系统中(见以下描述)。因此,抽取控制室压力调节之后紧跟着长为 10 毫秒 -20 毫秒的典型时间。这样,在剂量调配步骤结束时处理室的一些压力偏移就不可避免。然而,这些压力调节不会导致对可测量性能的伤害。而且,在例如化学试剂剂量调配阶段的起始脉冲的情况下不会有意地产生瞬变。因此,与终止化学试剂剂量调配阶段相关的瞬变影响较小。

[0093] 如上所述,根据本发明的 SMFD 型 ALD 系统可解决在清理过程中对高流量(和低压力的要求(以便能够实现高效率 and 短时间清理)与在化学试剂剂量调配过程中对低流量(和高压力的要求(以便能够实现快速反应和高化学试剂利用率)之间的传统协调问题。在稳定压力的实施例中,所述系统能够保持大致恒定的处理压力,同时又可使流量的调节幅度超过 10 倍。事实上,根据本发明的处理硬件和方法已经成功地用于在稳定压力下产生调节幅度超过 100 倍的流入流量和抽出流量调节。作为一种替代性方法,压力和流量均

能够得到调节,以使清理阶段和化学试剂剂量调配阶段具有甚至更高的效率而且实际上不需要进行任何折衷协调。根据本发明的装置和方法通过同步地调节(气体排出沉积室的)抽出流量和气体进入沉积室的流入流量实现了上述预期能力。

[0094] 根据本发明的系统和方法的一个优点是用于实施本发明的一些结构和技术可通过新颖组合的方式使用商品部件,从而可使本发明的实施例能够低成本地设计和使用。例如,某些实施例包含一个处于已知压力下的惰性气体的集中单个供给点,其气体在所述系统内以可选择性控制的方式分配通过节流元件。惰性气体源的一个实例是市场上可获得的压力控制器(例如,MKS 640A 系列)和气体容器。另一个实例是普通的压力调节器。在根据本发明的某些实施例中,大约 100 毫秒的持续时间是化学试剂剂量调配阶段和清理阶段中的每个阶段的实际目标。相应系统的气体动力学通常是以系统响应时间小于 5 毫秒的目标设计的。因此,为了避免在阀 102、120、108 和 110 之间以及与其他化学试剂源相关的阀中产生不理想的瞬态条件、压力不稳定和波动(不可控制和不可重复的延迟),优选使用能够以小于 5 毫秒的速度启动的阀。阀 108 和 110 是用于一个化学试剂源的一组阀。在图 1 中所示的特殊实施例中,所述 ALD 系统包括两组这样的阀,分别用于每个化学试剂源。ALD 系统通常需要至少两个不同的化学气体源。5 毫秒和更快的启动速度比 UHP 隔膜阀的典型启动速度快。然而,几种商业产品可实现这样的启动速度,所述商业产品包括:UHP 电磁阀(例如,Parker General Valve 系列 99, Fujikin ECV 系列)、压电阀、电子燃料喷射器、比例阀和快速 MFC(例如,Mach One of AE-EMCO)。

[0095] 根据本发明的实施例使用了 FRE。例如,FRE 可以是可调节构件(例如,计量阀、比例阀、热节流孔和快速 MFC)或被动构件(节流孔、导流体、毛细管和多孔介质)。被动 FRE 通常比可调节 FRE 便宜和坚固。然而,可调节 FRE 通常更适合于进行最优化调节。在气体流路上的未包含截止阀的部分中,所要求的 FRE 传导率优选被设计为所述流路的传导率。在气体流路上的包含截止阀和 FRE 的部分中,优选这样设计,即将所述 FRE 与所述截止阀结合成一体。在结合成一体的阀-FRE 中,优选将所述截止阀设计成在其完全打开时可具有必需的传导率。作为一种替代性的方法,例如比例阀和一个马赫数的快速 MFC 的装置能够打开到具有预期的传导率。在根据本发明的系统和方法的最优化中,FRE 103、106、109、111 和 121 的调节能力可使静态清理模式、静态化学试剂剂量调配模式和化学试剂剂量调配瞬态性能得到高效和独立地最优化。

[0096] 化学气体源 105 的压力优选大于 1Torr,以便高到足以方便使用。此外,化学气体源 105 必须能够在化学试剂剂量调配阶段的过程中保持压力不变。

[0097] 术语“室”和相关术语是指一种具有相对大致封闭的容积 V 且设有至少一个入口和一个出口的构件,其中,在可用流量 Q 的范围内,通过所述室(例如,在入口与出口之间)的压力梯度 ΔP 显著小于所述室中的平均压力 P 。一般而言,在根据本发明的实施例中,当 V 大约为 1000cc 和通过室的流量 Q 大约为 1000scm 或更小时,室的比值 $\Delta P/P$ 小于 0.1。而且,在这里,气体在室内的停留时间相当大,所述停留时间由 $\tau = VP/Q$ 定义。一般而言,在这里,气体在室中的停留时间 τ 通常为 50 微秒或更长。

[0098] 另一方面,术语“节流元件”(“FRE”)是指一种具有非常小的容积且通常仅具有一个入口和一个出口的构件,其中,在可用流量 Q 的范围内,压力梯度 ΔP 与 FRE 的所述入口和所述出口之间的平均压力 P 相比相对较大。一般而言,在这种规格的 FRE 中,当通过 FRE

的流量 Q 大约为 1000sccm 或更小时,比值 $\Delta P/P$ 大于 0.1。而且,在这里,气体在 FRE 中的停留时间 τ 相对较短,通常小于 50 微秒。

[0099] 与具有基本无源元件例如电阻器、电容器和感应器的电路非常相似,压力梯度 $\Delta P = 0$ (非 FRE 特性) 的室和 $V = 0$ 的 FRE 实际中并不存在。然而,与电路规则相似,含有室和 FRE 的 ALD 和其他流体流网络实际上能够通过使基本元件具有纯粹元件特性得到说明和设计。

[0100] 因此,本领域的技术人员可以理解使用了室和 FRE 的理想化特性的流动系统的描述和设计。例如,术语“处理室”意味着在处理空间中压力梯度通常被最小化,尽管清楚地知道在流动系统中只要存在流动就会存在压力梯度。事实上,在根据本发明的 SMFD 的某些实施例中,设计了一个加长的处理室,所述处理室的两侧之间具有压力梯度。

[0101] FRE 通常被设计和理想化成具有零或最小的容积,尽管对本领域的技术人员来说实际中根本无法实现 $V = 0$ 的 FRE。也可以理解,如果不是特别规定,处理就可非常有利地在 ΔP 非常小的室中进行。另一方面,在某些情况下,具有非常小的 V 的 (或 τ) 的 FRE 是不切实际的。然而,使用具有相当大的容积的 FRE 通常并不会对性能造成损害。具有相当大的容积的 FRE 的特性实际上是通过组合一个纯室 V 和一个纯 FRE 进行描述和设计的,这一点与对通过“等效电路”描述的电路元件例如具有电阻的感应器的电描述十分相似。

[0102] FRE 的容积可通过增加与其最近的室的“有效”容积而被包含在设计中。室的节流特性能够通过将该室的残留传导率加在下游 FRE 的传导率上以获得“有效 FRE”传导率 C_{eff} 而得以实现,其中

$$[0103] \quad C_{eff} = \frac{1}{1/C_{FRE} + 1/C_{chamber}}$$

[0104] 实际具有几个处于串联和并联的 FRE 的系统可用有效 FRE 表示,以便于对系统进行描述。例如,含有均为 FRE 的毛细管和阀的管可用单个有效 FRE 表示。在根据本发明的优选实施例中,流阻特性可被设计包含在阀的结构中。

[0105] 图 2 以示意形式示出了根据本发明的 SMFD 型 ALD 反应器容器 200 的剖视图。为了清楚起见,装置 200 中的在现有技术中为标准形式的几个构件没有包含在图 2 中,这些构件例如有晶片装载端口、晶片升降销和电馈入结构。

[0106] 气体分配室 (喷头) 201 具有 100 毫米的内径,其内部空间为 3 毫米高。所述喷头不必覆盖着所有晶片基板表面区域。因此,所述喷头的容积为 23.6cm³。喷嘴阵列 (FRE) 202 将气体分配室 201 的底部与沉积室 203 分隔开。一个 200 毫米的半导体晶片 204 位于热基板保持器 205 上,所述热基板保持器 205 由热传导金属 (例如, W、Mo、Al 和 Ni) 或现有技术中通常用于热基座和卡盘的其他材料制成。所述热基板保持器的周边通过良好的热触点 (或作为一个部件加工) 连接在 FRE 206 上。FRE 206 被成形为一系列的径向狭槽。图 2 的右侧示出了没有狭槽的横截面的部分 207。在操作过程中,气体通过沉积室 FRE 206 从沉积室 203 流入抽取控制室 208 中。气体通过可控制抽取的 FRE 209 从抽取控制室 208 流到真空端口 210。抽取气体通过抽取气体管 211、抽取源截止阀 212 和抽取源 FRE 213 进入抽取控制室 208 中,以控制抽取控制室 208 中的抽取压力。在典型的 ALD 操作过程中,抽取气体进入抽取控制室 208 的流量可被选择性地控制,以在不同阶段实现不同的压力,即在第一化学试剂剂量调配阶段的过程中实现第一剂量调配抽取压力,在清理阶段的过程中实

现清理抽取压力,在第二化学试剂剂量调配阶段的过程中实现第二剂量调配抽取压力。正常地,相对于清理阶段过程中的流量,抽取气体进入抽取控制室 208 的流量在化学试剂剂量调配阶段的过程中增大,以增加抽取控制室 208 中的压力(剂量调配抽取压力),从而可降低处理气体(包含化学反应物前体)排出沉积室 203 的抽出流量,进而可使化学试剂的浪费最小化,并且如果需要可增大沉积室 203 中的化学试剂的压力和流量。在清理阶段中,抽取气体进入抽取控制室 208 的流量通常会降回到较低流量,以降低抽取控制室 208 中的压力(清理抽取压力),从而可增大清理气体排出沉积室 203 的抽出流量,以提供更高的清理气体流量和如果需要提供较低的清理压力。图 2 中还示出了化学试剂源管 214、化学试剂源 FRE 215、增压室 216、化学试剂剂量调配截止阀 217、清理排气截止阀 218 和增压室 FRE 219。图中还示出了热障 220,其被构造用于防止反应器容器壁 221 与反应器容器顶部 222 之间发生热传导。所述热障在以下实施例中非常有用,即其中反应器容器壁 221 与喷头(气体分配室)201 在不同的可控温度下操作。

[0107] 化学试剂的利用率和化学试剂的去除速度随着沉积室 203 的容积的降低而提高。各种技术中所使用的基板尺寸,例如通常用于半导体装置制作中的 200 毫米和 300 毫米的圆形硅晶片,决定了沉积室的尺寸。例如,用于处理一个 200 毫米的圆形晶片的沉积室必须具有直径至少为 200 毫米的圆形区域。气体流动动力学要求所述沉积室的高度应具有几毫米。因此,这种 200 毫米的沉积室的容积通常为至少 150cm^3 ,更通常为 300cm^3 或更大。通常预期的 ~ 0.6 秒的周期时间将化学试剂去除清理阶段的最大许可时间限制在大约 0.1 秒至 0.2 秒的范围内。在所述时间内,通常希望沉积室中的化学试剂前体反应物的浓度降至其初始值的 1% 以下。更精确地讲,化学试剂的去除程度由化学试剂的具体化学性质和对沉积膜质量的具体要求确定。在 ALD 周期的清理阶段的过程中,沉积室中的化学试剂的浓度与 $\exp(-t/\tau)$ 成正比,其中, t 是化学试剂的去除时间。因此,为了达到小于 1% 的程度, t 需要等于或长于 4.6τ 。为了使 $4.6\tau < 0.2$ 秒, VP/Q 的值大约为 0.044 秒。如果 V 被通常限制在大于大约 300cm^3 的范围内, P/Q 就会限制在小于 0.145sec/L 的范围内。例如,如果 Q 为 500sccm($6.33\text{L}\times\text{Torr}/\text{sec}$),则处理压力应等于或小于 0.92Torr。作为另一个实例,如果需要将化学试剂的去除程度降至 0.0001%,则沉积室在清理过程中的压力应限制在低于 300mTorr 的范围内。

[0108] 在根据本发明的一个代表性实施例中,所述喷头(气体分配室)具有 $V_{SH} = 23.6\text{cm}^3$ 的容积。喷头压力为 $P_{SH}^{purge} = 500\text{mTorr}$ 。ALD 空间的容积大约为 400cm^3 。处理沉积室的稳定压力为 $P_{114} = 100\text{mTorr}$ 。在清理阶段中清理气体通过所述喷头进入所述沉积室的流入流量被控制为 $Q^{purge} = 1000\text{sccm}$ 。从而,在清理阶段中,气体在所述喷头和所述沉积室中的停留时间 $\tau = VP/Q$ 分别为 1 毫秒和 3 毫秒。所述 ALD 系统和处理操作被设计成在 400 毫秒-500 毫秒的周期时间下实施 ALD。每个周期通常包括第一化学试剂剂量调配阶段、紧接在第一化学试剂剂量调配阶段之后的清理阶段、随后的第二化学试剂剂量调配阶段以及紧接在第二化学试剂剂量调配阶段之后的另一清理阶段。从而,每个阶段的目标持续时间为大约 100 毫秒。如果使用这些示例设计尺寸和操作条件,在清理阶段中,所述示例 ALD 系统可提供 100 次的喷头容积吹扫和多于 30 次的沉积室容积吹扫。所述容积吹扫次数远远大于使用传统的 ALD 技术通常能够达到的吹扫次数(例如,在 1 秒-5 秒的清理时间内通常仅能进行 3 次-10 次的沉积室容积吹扫)。SMFD 装置和方法在以下方面优于传统

的 ALD 方法和装置,即 SMFD 装置和方法的清理性能得到了显著地改进,清理时间得到了降低,并且化学试剂的利用率得到了提高。因此,在清理阶段中的喷头传导率可计算和设计为 $C_{SH}^{purge} = Q^{purge} / (P_{SH}^{purge} - P_{114}) = 31.7 \text{ L/sec}$ 。在根据本发明的 SMFD 型 ALD 系统的优选设计中,喷头流量对喷头压力具有高的灵敏度。因此,喷嘴阵列 FRE 中的喷嘴被设计成具有实际中尽可能大的长宽比。例如,在直径为 100 毫米的喷嘴阵列板上设有 600 个喷嘴的密集模式中,每个喷嘴在清理阶段中的气体流量大约 1.67 sccm。在厚度为 3.125 毫米 (1/8 英寸) 的喷嘴阵列板中,管型喷嘴具有大约 3 毫米的长度。喷嘴直径的估计值可使用以下 Poiseuille 公式进行计算,即公式 (1) :

$$[0109] \quad (1) \quad D = \sqrt[4]{\frac{Q^{nozzle} \eta L}{0.01635 [(P_{SH}^{purge} - (P_{114}))^2]}} = 0.144 \text{ cm}$$

[0110] 其中,清理气体的粘度被理想化为 250°C 下 N_2 的粘度,即 $\eta = 270 \mu \text{ poise}$ 。相应的气体流量可由公式 (2) 计算:

$$[0111] \quad (2) \quad Q_{SH}^{purge} = \frac{9.8 D^4 (P_{SH}^{purge})^2 - [P_{114}]^2}{\eta L}$$

[0112] 作为比较,可以考虑使用这样一种根据典型的喷头设计的喷头设计,即在直径为 100 毫米的喷嘴阵列板中设有 300 个孔眼型喷嘴,所述喷嘴具有非常小的孔眼长度。每个喷嘴的传导率 ($C = Q / \Delta P$) 为 $105.6 \text{ cm}^3/\text{sec}$ 。喷嘴的面积可由公式 (3) 计算:

$$[0113] \quad (3) \quad A = \frac{C}{\frac{9.13}{1 - (P_{114}/P_{SH}^{purge})} \left(\frac{P_{114}}{P_{SH}^{purge}} \right)^{1/r} \left\{ \frac{2r}{r-1} \left(\frac{T_1}{M} \right) \left[1 - \left(\frac{P_{114}}{P_{SH}^{purge}} \right)^{(r-1)/r} \right] \right\}^{1/2}}$$

[0114] 其中, P_{SH}^{purge} 和 P_{114} 分别为喷头压力和沉积室压力 (Torr), $\gamma = C_v/C_p$ 为气体热容比,对于 250°C 下的 N_2 来说该热容比为大约 1.4。 T_1 是喷头温度 (假定该温度也是气体温度),其取 250°C = 523° K。 M 是气体的分子量 (理想化为 $M_{N_2} = 28 \text{ gm/mole}$)。如果使用这些变量的值,通过公式 (3) 计算的喷头喷嘴的面积大约为 $A = 4.4 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ 。因此,喷嘴直径为大约 750 $\mu \text{ m}$ 。清理气体流量由下面公式 (4) 计算:

$$[0115] \quad (4) \quad Q^{CD} = \frac{9.13 A (P_{SH}^{CD} - P_{114})}{1 - (P_{114}/P_{SH}^{CD})} \left(\frac{P_{114}}{P_{SH}^{CD}} \right)^{1/r} \left\{ \frac{2r}{r-1} \left(\frac{T_1}{M} \right) \left[1 - \left(\frac{P_{114}}{P_{SH}^{CD}} \right)^{(r-1)/r} \right] \right\}^{1/2}$$

[0116] 图 3 示出了上述孔眼型和优选管型喷嘴阵列设计中的 P_{SH} 的计算值与 Q^{CD} 之间关系的曲线图。图 3 显示出喷头的管型喷嘴阵列设计提供了优选的流量 - 压力的关系曲线。通过设计使两条 P-Q 曲线大约相交于 0.5 Torr-1000 sccm 点。然而,管型喷嘴阵列可通过调节压力提供小到 10 sccm 以下的稳定流量控制,而孔眼型设计在流量低于大约 400 sccm 时只能提供非常有限的控制。在化学试剂剂量调配阶段的稳态部分的过程中,喷头压力降至 P_{SH}^{CD} 。所述喷头压力的降低可使进入 ALD 沉积室的流入流量降低,所述流入流量的降低根据本发明可通过排出所述沉积室的抽出流量的降低得到补偿。在纯化学反应物前体气体的压力为 100 mTorr 的各种情况下,化学试剂在 250°C 下的浓度大约为 2×10^{15} 分子数 / cm^3 。在 400 cm^3

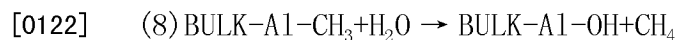
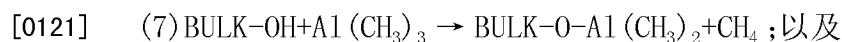
的沉积室容积中的化学反应物前体的分子总数为 $\sim 8 \times 10^{17}$ 。所述沉积室估计具有 1000cm^2 的包括非基板面积在内的总表面积。在典型的中间 ALD 表面上的反应活性部位的数量密度估计介于大约 1×10^{14} 个反应活性部位/ cm^2 – 7×10^{14} 个反应活性部位/ cm^2 的范围内,或者介于 1×10^{17} 个反应活性部位 / 沉积室面积 – 7×10^{17} 个反应活性部位 / 沉积室面积 (在晶片和其他暴露表面上)。根据上述估计,化学试剂在滞流 (回填) ALD 沉积室中完全反应之后的消耗程度在大约 10%–90% 的范围内。如果供给纯浓度小于 100% 的化学试剂,消耗作用将会相对更为显著。化学试剂的消耗延长了 ALD 反应的完成时间。如果化学反应物前体分子的部分压力因消耗而降低,则碰撞分子的通量会相应地降低。因此,尽管许多 ALD 处理操作在化学试剂的滞流 (回填) 压力下可得到良好地执行,但一些处理操作需要通过使有限流量的化学反应气体流入所述沉积室来补充化学试剂。实际中,一些系统要求化学试剂使用惰性载气稀释,以有利于化学试剂的输送。此外,具有高密度的大表面积装置特征的晶片例如动态随机存取存储器 (DRAM) 的制造通常会引起更显著的消耗作用。

[0117] 在化学试剂剂量调配阶段的过程中,每当纯化学反应物在 250°C 下具有 100mTorr 的压力时,到达表面上的分子的通量为大约 $\phi = 3.513 \times 10^{22} (P/[MT]^{1/2}) \approx 1.5 \times 10^{19}$ 分子数/ cm^2/sec (M 为化学反应物前体的分子量,为了一般的保守估计,在此理想化为 100gm/mole)。因此,在 100 毫秒的脉冲过程中,表面承受 $\sim 1.5 \times 10^{18}$ 碰撞量/ cm^2 。经验上,ALD 反应在 1×10^{16} 碰撞量/ cm^2 – 3×10^{17} 碰撞量/ cm^2 的外露接触化学反应气体分子的接触量的范围内会接近饱和 ($> 99\%$ 已起反应)。因此,100mTorr 的处理压力通常已足够。尽管 ALD 化学试剂剂量调配阶段的时限相对较短 (例如,100 毫秒),但所要求的接触量相对较小。饱和和接触量的大小取决于特殊反应的具体的反应粘附系数 σ_R 。反应粘附系数是根据以下公式由成功的表面反应与实际通量之比定义的:

[0118] (5) $\frac{\partial n}{\partial t} = -kn$; 以及

[0119] (6) $n(t) = n_0 \exp(-kt) = n_0 \exp\left(-\frac{\sigma_R \phi t}{n_0}\right)$

[0120] 其中, n 为每 cm^2 的反应活性部位的数量密度, k 为反应率。例如,金属前体三甲基铝通常需要大约为 3×10^{16} 分子数/ cm^2 的接触量,以在大约 300°C 下进行 Al_2O_3 的 ALD 的过程中使中间 AL–OH 表面发生反应和能够饱和。ALD 反应可表示如下:



[0123] 其中, BULK 表示中间基板。反应活性部位的数量密度估计为 3.9×10^{14} 。因此,反应粘附系数为 $\sigma_R = 5 \times 3.9 \times 10^{14} / \text{接触量} \approx 0.064$, 其中 $\exp(-5) = \exp[-\text{接触量} \times \sigma_R / (3.9 \times 10^{14})] \sim 6.7 \times 10^{-3}$ 被作为饱和度的定义 (即,反应进行得超过了 99% 的反应活性部位)。绝大部分的金属 ALD 前体的 σ_R 值介于 0.006–0.08 的范围内。典型的非金属前体例如 H_2O 、 NH_3 、 H_2S 等的活性较小,因此它们的 σ_R 值通常介于大约 0.001–0.005 的范围内。具有这样低的反应粘附系数意味着:与化学试剂在气体温度超过 100°C 和处理压力低于 1Torr 的情况下通过扩散的传输相比,化学试剂在接近晶片的区域上的消耗非常小。因此,过渡层的存在和有限扩散传输通常不是所关心的。然而,在晶片上存在高密度的大表面积特征的一些应用场合中,例如在 DRAM 晶片的情况下,过渡层的作用能够在基板的区域上产生局部

消耗。因此,比典型的光滑表面的接触量高二至四倍的接触量可用于抑制这些局部消耗作用。

[0124] 作为一个实例,在化学试剂剂量调配阶段中 50sccm 的流入流量假定可防止耗尽。因此,ALD 沉积室在 100 毫秒的化学试剂剂量调配阶段的过程中可被吹扫两次,从而可对消耗作用产生 3 次抑制。在 50sccm 下,所述喷头和 ALD 容积的响应时间分别为 20 毫秒和 60 毫秒。在流入流量小于 10sccm 的稳态剂量调配下,剂量调配在低的稳态流入流量的条件下的响应时间甚至更长,所述流入流量在 300°C 下的 Al_2O_3 的 ALD 的过程中可充分地维持 TMA 的剂量调配。这些响应时间比 100 毫秒的预期的化学试剂剂量调配时间长。因此,在 100 毫秒的化学试剂剂量调配的过程中的化学试剂的接触量由于以下原因而会降至当使用 50sccm 的化学试剂剂量调配流量时的接触量的大约 50%,即需要时间将 ALD 沉积室中的气体从为 100% 的惰性清理气体变化成 ~ 100% 的化学反应气体。在优选实施例中,如上所述,上述潜在问题可通过化学反应气体的瞬间增压得到校正。

[0125] 图 4 示出了以下两种情况下的相对化学试剂剂量调配(用化学反应气体替换惰性清理气体)与喷头和沉积室的化学试剂剂量调配时间之间关系的曲线图,即在化学试剂剂量调配阶段的起始时具有和没有增压室产生的化学试剂的瞬态脉冲。曲线清楚地显示出在化学试剂剂量调配阶段的前沿部分发生瞬变的优点。在 50 毫秒-100 毫秒可用短的剂量调配时间的范围内的累积接触量在使用了增压室瞬变的情况下比没有瞬变的情况高 2 倍或更多倍。

[0126] 如上所述,具有增压室脉冲的化学试剂剂量调配阶段的起始部分能够有效地降低残留化学试剂的去除过程中的不利沉积作用。在化学试剂剂量调配阶段的开始,化学反应气体的流入流量起始时相对较高(与随后的稳态化学试剂剂量调配流量相比),从而,可在(从先前供给的化学试剂中)去除剩余化学试剂气体的过程中提供更高程度的起始稀释。同时,去除气体源通常与主要化学试剂发生反应,所述主要化学试剂用于在裂缝和其他去除气体区域内产生膜。当产生的膜不是多孔的时(通常是在如果没有非常大的化学试剂浓度残留的情况下),由滴定处理形成的膜在去除气体源基本上正在被滴掉的情况下对基板沉积产生不太显著的负面影响。根据这种机理,在瞬态流量已显著降低时,去除气体操作也通常会降至无效的程度。具有高浓度的短的化学试剂剂量调配阶段也能有效地降低残留化学试剂的去除过程中的寄生沉积。

[0127] 图 5 示出了一个曲线图,图中将如上所述的根据本发明的 ALD 实施例中的实际的化学试剂使用与现有技术的传统连续流动处理进行了对比。每个化学试剂剂量调配阶段中的材料使用包含在随后的清理步骤的过程中被清理出所述喷头和 ALD 空间之外的化学试剂。对于流量为 50sccm 的稳态剂量调配的这种情况来说,根据本发明的 SMFD 型 ALD 的材料使用量比传统 ALD 中的材料使用量少 5 倍以上。除了化学试剂的使用量大大降低以外,根据本发明的 SMFD 型 ALD 还能实现与传统的 ALD 所获得的相似的通量大小和接触量。在传统的 ALD 系统中的连续流的 1000sccm 的流量可使传统系统实现根据本发明的上述化学试剂清理性能,但是要以非常大的化学试剂利用率为代价。然而,执行这种高的化学试剂剂量调配流量对沉积系统有害,因此根据对清理最优化和剂量调配最优化的权衡考虑,传统的 ALD 装置和方法被迫降低清理效率而以较低流量进行操作。当较低的更为典型的流量用于传统的 ALD 时,化学试剂的利用率得到了提高,但是清理性能会得到显著地损害。

[0128] 实现高效率 ALD 的困难源于对高效率清理和高效率化学试剂剂量调配之间的相互矛盾的要求。这些重要模式均不能在实现高的总效率与实际低的维护费用之间得到很好地协调。化学试剂剂量调配阶段应尽可能地短,同时应具有最大化的前体流量。化学试剂的浓度和流量越高,剂量调配步骤就会越短。而且,残留化学试剂的寄生源借助于正在供给的较高流量的主要化学试剂而能得到较好地处理。许多 ALD 前体具有相对较低的蒸气压力,从而会使以高化学试剂流量输送化学试剂变得非常困难。从这个方面讲,根据本发明的实施例提高了输送未稀释化学试剂的能力。

[0129] 化学试剂的高效率利用有助于使化学试剂去除和沉积室维护的解决方法变得更不复杂和更为实际。优选地,ALD 系统被设计成可去除至少一种化学反应前体,例如 ML_x 前体。从可获得的经验数据得知,在根据本发明的优选实施例中的 TMA 的利用率目前大约大于 20% (对于在晶片上形成薄膜的材料)。因此,在任何条件下绝大部分的化学试剂均会被浪费掉。ALD 沉积室内的热暴露区域通常会覆盖着 ALD 膜。估计有多于 30% 的化学试剂在所述沉积室中沉积在非晶片表面上。因此,在当前的优选实施例中,有小于 50% 的进入沉积室中的化学反应物前体气体以抽出流量离开所述沉积室。相比而言,在传统的 ALD 系统中,大约比根据本发明的 ALD 系统大约大十倍或更多倍的化学反应气体离开沉积室。

[0130] 在没有提供流入流量和抽出流量的同步调节的传统 ALD 系统中,流入流量调节非常不利。由于流入流量的增大会导致压力的增加,压力的增加又会大大地限制停留时间的降低,因此清理效率不能够通过增加清理流量而得到提高。例如,增大为原来 100 倍的清理流量所能获得的最大停留时间降低量与沉积室出口传导率的最大理论增加量 10 倍系数相关,并且与增大的沉积室压力 10 倍系数相关。在例如小 100 倍的流入流量下的化学试剂剂量调配将会导致剂量调配压力不利地降低至少 10 倍。从而,在 10sccm 的流入流量和 100mTorr 的剂量调配压力下进行化学试剂剂量调配的传统的 ALD 系统如果试图以 1000sccm 的流量进行清理就必须达到 1Torr (至少) 的压力。为了至少理论上能够与 SMFD 的清理性能相匹配,传统系统中的清理流量就必须设为理论最小值 100000sccm。理论上,清理压力将达到 (并且实际上超过) 10Torr。在上述这些流动条件下,并且如果是在用于在相当小的基板例如 200 毫米的晶片上沉积的 ALD 室的典型几何形状下进行,雷诺数将会非常高并会导致不可接受的湍流。而且,在这些高流量下的抽气费用将会高得惊人。

[0131] 由于多种原因会在 ALD 和其他系统中不希望地出现相当大的压力偏移。所述压力偏移会产生非常多的颗粒,并且在 ALD 的情况下可引起回流瞬变。

[0132] 在对图 1 的描述中,来自于化学气体源 105 的化学反应气体流过化学试剂源 FRE 106、增压室 107 和增压室 FRE 109。化学气体源 105 的典型压力为 10Torr。从而,增压室 107 中的压力在相继的化学试剂剂量调配操作之间可被理想化为达到与 P_{105} 相等的压力,即 $P_{107} = P_{105} = 10\text{Torr}$ 。在化学试剂剂量调配阶段的过程中, P_{107} 从 P_{105} 向下降低瞬变,直到建立稳态流量。在具有包括以下周期顺序步骤的典型处理过程中,即包括:100 毫秒的第一化学试剂剂量调配阶段、100 毫秒的清理阶段、来自于另一化学试剂源的 100 毫秒的第二化学试剂剂量调配阶段以及 100 毫秒的第二清理阶段,从一个特殊的化学试剂源进行的相继的化学试剂剂量调配之间的时间为 300 毫秒,所述时间也是增压室 107 的恢复时间。在根据本发明的系统和方法的设计中,考虑到以下情况非常重要,即化学试剂源 FRE 106、增压室 107 和增压室 FRE 109 的组合流动传导率的降低可使化学试剂剂量调配流量相应地降

低,并且会使增压室 107 中的稳态压力降低,而且还会使响应时间增大,在所述响应时间内增压室 107 在 300 毫秒的恢复期内可大致再次增压。

[0133] 在化学试剂剂量调配流量为 50sccm 的根据本发明的典型实施例中,增压室 107 中的稳态压力为 2.24Torr。从增压室至所述喷头的化学试剂的流量可通过 $Q_{107} = 0.127(P_{107}^2 - P_{SH}^2)$ 计算。通过使用 Poiseuille 公式,可估算出 FRE 109 的几何特征:

$$[0134] \quad (10) \quad \frac{D^4}{\eta L} = 7.77 \text{ cm}^3/\text{poise}$$

[0135] 对于 1cm 长的 FRE 来说,其直径(对于 250°C 下的 N₂ 来说 $\eta = 270\text{poise}$) 大约为 0.2cm。当设计直径为 0.3125cm(1/8") 时,长度为 5.3cm。实际上,化学试剂剂量调配截止阀 110(图 1) 可对流动产生一些阻抗。因此, FRE 109 仅需要为另外的节流作准备。通过采用相似的方式, FRE 106 的几何特征可从下面求出:

$$[0136] \quad (11) \quad \frac{D^4}{\eta L} = 0.41 \text{ cm}^3/\text{poise}$$

[0137] 因此, FRE 106 可由长度和直径分别为 86cm 和 0.3125cm(1/8") 的管制成。然而由于极为可能优选使化学试剂输送管做得更短,因此 FRE 106 能够通过增加一个与较短的管串联的较细的毛细管来实现。

[0138] 在清理过程中, FRE 109 被清理至清理排气管 112。所述清理操作在阀 108 打开时立即开始。所述清理排气管中的流量受 FRE109 和 FRE 111 的组合传导率的影响。由于需要清理的容积非常小(例如, 1cm³-2cm³), 因此能够使用非常小的流量获得高效率清理。例如, 20sccm 足以获得 2 毫秒-4 毫秒的响应时间。因此, 在该通道中的流量对喷头压力和清理气体进入沉积室 114 的流量的影响较小。ALD 通常使用两种(或更多种)化学试剂前体执行。在使用一种前体 A 的剂量调配阶段的过程中, 第二种前体 B 的支管中的从喷头 104 至阀 108' 的管段表现为一个受压的盲管段。从而, 会有一些前体 A 渗透进入前体 B 的支管中的上述盲管段内。因此, 对所有化学反应气体支管的清理操作优选在紧跟在每个化学试剂剂量调配阶段之后的清理阶段的过程中进行。

[0139] 例如, 当 ALD 沉积室 114 中的压力为 100mTorr 时, 通过沉积室 114 和通过 FRE 117(图 1) 的清理气体的典型流量为 1000sccm。在清理过程中抽气路径的传导率 $C_{pp} = (1/C_{115} + 1/C_{117})^{-1} = Q/(P_{114} - P_{\text{pump}})$, 其中, $P_{114} = 100\text{mTorr}$, P_{pump} 为泵压力。泵压力取决于所选择的泵和抽气速率。例如, 具有 1000L/sec-2000L/sec 的抽气速率的涡轮分子泵可在泵压力低于大约 700mTorr 的情况下提供足够大的流量控制。具有 200L/sec-400L/sec 的抽气速率的分子拖曳泵可在大约 60mTorr 以上的范围内的压力下控制流量。用于操纵高流量的泵, 例如 BOC Edward(原来的 Seiko Seiki) STPA1303C 或 Alcatel ATH1600M 或 ATH2300M, 优选用于根据本发明的实施例。在本典型计算中, 假定使用的是 2000L/sec 的涡轮泵和 6.3mTorr 的泵压力。因此, 可计算出 C_{pp} 的值为 135L/sec。

[0140] 当 FRE 115 的传导率在流入流量和相应的抽出流量均为 1000sccm 的情况下大约为 1000L/sec 时, 抽取控制室 116 的压力 P_{116} 可这样计算, 即 $P_{116} = 0.1 - Q/C_{115} = 87.5\text{mTorr}$ 。FRE 117 的传导率可这样计算, 即 $C_{117} = (1/C_{pp} - 1/C_{115})^{-1} = 156\text{L/sec}$ 。在如图 2 所示的示例装置中, 基板保持器 205 具有大约 220 毫米的直径。FRE 115 被成形为弯曲细长狭槽。这些狭槽之一用于晶片装载。三个相同的狭槽在 220 毫米的直径上沿着周边布置, 并且所述

狭槽具有梯形隔板,所述隔板在 220 毫米的直径上为 1cm 宽。每个狭槽的宽度为大约 22cm。所述狭槽的长度认为是 1cm。单个狭槽的传导率大约为 333L/sec。所述传导率可通过下面的用于矩形横截面的 Heinze 公式近似地计算:

$$[0141] \quad (12) \quad C = 0.083 \frac{a^3 b}{\eta} \left(\frac{P}{L} \right) \psi$$

[0142] 其中, a 为矩形的短边尺寸, b 为矩形的长边尺寸, ψ 根据 a/b 通过 Williams 等人的曲线给出。 η 为 N_2 在 523° K 的温度下的粘度, 取 $\sim 270 \mu \text{poise}$ 。假设 a/b 为 ~ 0.04 , ψ 估计为 ~ 0.97 。所述狭槽的高度 a 可通过下面公式计算:

$$[0143] \quad (13) \quad a = \sqrt[3]{\frac{12C\eta L}{bP\psi}} = 0.82 \text{ cm}$$

[0144] 所述狭槽很窄, 但足以容纳一个晶片装载末端执行器和一个晶片, 以用于对晶片进行处理。所述狭槽的尺寸比 $a/b = \sim 0.037$, $\psi = \sim 0.97$, 它们与假设值一致 (除了其他误差因素以外)。对于直径为大约 22cm 和高度为大约 1cm 的沉积室 203 的示例尺寸来说, $V_{\text{ALD}} = \sim 400 \text{cm}^3$ 。例如, 沉积室 203 的高度从晶片区域的 1cm 平滑过渡到狭槽处的 0.82cm。

[0145] 图 2 中的 FRE 209 的传导率受插块 207 与反应器容器壁 221 之间的缝隙影响。在另一个实施例中, 插块 207 与反应器容器壁 221 之间的缝隙被设计成非常小, 插块 207 的底部上的其他开口为 FRE 117 提供主要传导路径。传导路径的面积可使用下面公式 (14) 估算:

$$[0146] \quad (14) \quad A = \frac{C}{\frac{9.13}{1 - (P_{\text{pump}}/P_{116})} \left(\frac{P_{\text{pump}}}{P_{116}} \right)^{1/r} \left\{ \frac{2r}{r-1} \left(\frac{T_1}{M} \right) \left[1 - \left(\frac{P_{\text{pump}}}{P_{116}} \right)^{(r-1)/r} \right] \right\}^{1/2}}$$

$$[0147] \quad = 12.45 \text{ cm}^2$$

[0148] 在 FRE 117 的情况下, 孔眼型传导路径可使传导率实际上与 P_{pump} 无关。从而, 如果 P_{pump}/P_{116} 小于 0.1, C_{117} 实际上与压力无关, 并且可这样计算, 即 $C_{117} \cong 12.53A \cong 156 \text{L/sec}$, 其中, A 是孔眼的总面积。FRE 117 的上述特征可使根据本发明的 SMFD 型 ALD 系统的性能对抽气速率漂移相对较不敏感, 并且可使不必在典型实施例中进行主动泵压力控制。

[0149] 在化学试剂剂量调配阶段的稳态期中, 抽取控制气体通过抽取源截止阀 120 流入抽取控制室 116 (图 1)。因此, 抽取控制室 116 中的抽取压力可升高, 以降低化学反应气体排出沉积室 114 的抽出流量, 从而, 可独立地使化学反应气体的抽出流量与化学反应气体进入沉积室 114 的流入流量相匹配。当化学反应气体进入沉积室 114 的稳态流入流量为 50sccm 时, 抽取控制室 116 中的化学试剂剂量调配抽取压力必须升至:

$$[0150] \quad (15) \quad P_{116} = \sqrt{0.01 - 1.87 \times 10^{-4} Q} = 99.4 \text{ mTorr}$$

[0151] 通过阀 120 的流量必须要使抽取控制室 116 中能够保持着所述压力。从抽取控制室 116 至泵的气体流量为 $Q_{120} = C_{117} (P_{116} - P_{\text{pump}}) = 156 \times (0.0994 - 0.0063) = 14.5 \text{L} \times \text{Torr/sec} \approx 1150 \text{sccm}$ 。上述流量之中, 50sccm 为来自沉积室 114 的抽出流量, 1100sccm 为流过截止阀 120 的抽取气体的流量。

[0152] 根据本发明的设计良好的 SMFD 型 ALD 系统的性能不是十分依赖于气体流量和压

力的精确控制。从而,设计良好的 SMFD 型 ALD 装置对零件加工的标准和常规公差以及市场上可获得的装置和构件不敏感。例如,抽取控制室 116 中的化学试剂剂量调配抽取压力的增加量可以变化 5% -10%,而不会显著地影响独立地使抽出流量与流入流量大致匹配和化学试剂剂量调配特性。在化学试剂剂量调配的过程中的化学试剂的稳态流量对所述沉积室中的压力不敏感。稳态流量的波动或漂移均不产生严重问题。当通过阀 120 进入抽取控制室 116 的抽取气体的流量发生变化或漂移时,抽取控制室 116 中的抽取压力和沉积室 114 中的压力会同时平稳地漂移,以便仅通过较小和不太显著的处理压力漂移就能够补偿进入抽取控制室 116 的抽取气体流量的任何显著的漂移。

[0153] 根据本发明的系统和方法的所述重要的“自校正”特性通过参照图 6 进行说明。图 6 以示意形式示出了通过根据本发明的 SMFD 型 ALD 系统的各种气流。进入沉积室 114 的化学试剂的流量 Q1 由上游支管(源 101、FRE 103、源 105、FRE 106、增压室 107、FRE 109 和 FRE 113)决定,并且对沉积室 114 中的压力 P_{114} 极不敏感。从沉积室 114 进入抽取控制室 116 的抽出流量 Q2 由 FRE 115 的传导率和压力 P_{114} 和 P_{116} 决定。通过阀 120 进入抽取控制室 116 的抽取气体的流量 Q3 对抽取控制室 116 中的压力 P_{116} 极不敏感,并且主要由 FRE 121 和 FRE 121 之后的压力决定。排出抽取控制室 116 的气体的流量 Q4 由 FRE 117 的传导率($\sim 156\text{L}/\text{sec}$)和压力 P_{116} 和 P_{pump} 决定。所述系统在化学试剂剂量调配的过程中的所有压力和流量随着时间变化的情况可使用以下简化公式模拟:

$$[0154] \quad (16) \quad Q_1 = 0.63 + 12.04e^{-\frac{t}{0.005}};$$

$$[0155] \quad (17) \quad Q_2 = 5326(P_{114}^2 - P_{116}^2); \text{ 以及}$$

$$[0156] \quad (18) \quad Q_4 = 156(P_{116} - P_{\text{pump}}); \quad P_{\text{pump}} = \frac{Q_4}{2000}; \quad Q_4 = \left(\frac{156}{1 + \frac{156}{2000}} \right) P_{116} = 145P_{116}$$

[0157] 而且,沉积室 114 的容积为 0.4 升,抽取控制室 116 的容积为 3 升。可使用图 6 中所示的模型和公式 (16)、(17) 和 (18) 进行计算。

[0158] 图 7 以曲线图的形式示出了当 Q3 设定为 1100sccm 时 Q1、Q2 和 Q4 与时间之间的计算关系曲线,由所述关系曲线求出的值与根据前面计算的最优值接近。Q4 在化学试剂剂量调配阶段的起始瞬态部分的过程中超过了稳态值。这种过调是由于在我们的实例中所设置的瞬态 Q_1 和 P_{116} 之间存在失配引起的。瞬态可变值可具有相当大的失配,但对所述系统的重要参数(即, P_{114} 、 $\Delta P = P_{114} - P_{116}$ 、Q1 和 Q2)只具有较小的影响。图 8 示出了 P_{114} 、 P_{116} 和 $\Delta P = P_{114} - P_{116}$ 与时间之间的关系曲线。由于瞬态失配,因此在瞬态区间(从 100mTorr 至 $\sim 105\text{mTorr}$)中 P_{114} 稍微增大。这种不太显著的压力上升是平稳的,并且对系统性能没有影响。所述压力上升可通过将 P_{116} 的瞬态值调节得较低些而得到校正。然而,如果对系统性能的影响不大,实际上不需要进行最优化。更重要地,图 8 示出了沉积室中的压力稳定在 101mTorr 下和 $\Delta P = P_{114} - P_{116}$ 始终大于零。这种重要的特性意味着,所述系统可抑制从抽取控制室 116 到沉积室 114 的回流。如在大的变化范围内所进行的模拟和试验,这种对回流的抑制作用非常可靠,并且对 Q3 的大的漂移和阀的异步启动不敏感。

[0159] 另外还计算模拟了在以下五种不同的 Q3 值的情况下 P_{114} 与时间之间的关系,即, Q3 = 900、1000、1100、1200 以及 1300sccm。 P_{114} 的计算值在很小的范围内变化。例如, P_{114} 以

100mTorr 的初值开始,当 $Q_3 = 1300\text{sccm}$ 时, P_{114} 在 100 毫秒之后稳定于大约 118mTorr,当 $Q_3 = 900\text{sccm}$ 时,则稳定在 84mTorr 下。更为重要地,当 Q_3 为 900 与 1300sccm 之间的任何值时, $\Delta P = P_{114} - P_{116}$ 的计算值始终为正。 ΔP 在时间为 0 时开始于 12.5mTorr,20 毫秒之后其计算值在大约 5mTorr-7mTorr 的范围内。因此,尽管 Q_3 发生了 40% 的变化,沉积室中的压力也只是在相对较小的范围内平稳地漂移。此外,压力差 $\Delta P = P_{114} - P_{116}$ 从未变为负值,这表明系统可非常有效地自动适应以防止发生从抽取控制室 116 至沉积室 114 的回流。模拟结果表明,即使在 Q_3 发生了极端和非实际的漂移的情况下,对系统性能的影响也是微不足道的。如果使用现有技术中公知的方法和装置, Q_3 能够保持在 $1100 \pm 50\text{sccm}$ 下,从而,可非常容易地使 P_{114} 在 $100 \pm 5\text{mTorr}$ 的范围内波动。如以下实例 1 中所述,从根据本发明的代表性实施例的操作得到的实际经验数据证实了模拟结果。事实上,是在 400sccm - 1500sccm 的范围内对 SMFD 型 ALD 系统进行试验的,以便在将剂量调配压力控制在 100mTorr-500mTorr 的范围内能够适当地执行。

[0160] 系统鲁棒性体现在根据本发明的实施例的所有关键方面。例如,执行模拟模型的计算,以测试 P_{114} 对抽取控制室 116 的容积的敏感性。抽取控制室 116 的容积 V_{116} 在 1.5 升-12 升的范围内变化。抽取气体流量 Q_3 (见图 6) 设为 1100sccm 。 P_{114} 在时间为 0 时开始于 100mTorr,然后其保持在 95mTorr-115mTorr 的范围内。对 $\Delta P = P_{114} - P_{116}$ 所作的相应计算实际上表明了 ΔP 与 V_{116} 没有依赖关系。对 $Q_3 = 1200\text{sccm}$ 和 $Q_3 = 900\text{sccm}$ 的情况所作的相似计算表明了 P_{114} 和 ΔP 对 V_{116} 的敏感性同样较小。这些计算表明了根据本发明的 SMFD 系统能够承受很大范围内的瞬态失配。

[0161] 上述模拟计算使用了化学试剂剂量调配流量 Q_1 的稳态值 50sccm 。利用模拟模型所作的进一步计算将 Q_1 的值设为 25sccm 和 100sccm 。对于这些模拟计算来说, $V_{116} = 3$

升,对于 25sccm 的情况 $Q_1 = 0.315 + 12.355e^{-\frac{t}{0.005}}$,对于 100sccm 的情况 $Q_1 = 1.26 + 11.41e^{-\frac{t}{0.005}}$ 。

抽取气体流量 Q_3 在被设为 900sccm 、 1100sccm (“理想情况”) 和 1300sccm 的情况下模拟。在各种模拟条件下产生的 P_{114} 的计算值均位于大约 80mTorr-120mTorr 的范围内,从而说明了所述系统是稳定的并且其性能是可靠的。所述模拟计算还表明了由于阀 110 和 121 的异步启动所产生的系统的不稳定性还会被所述系统很好地吸收而只会引起较小的 P_{114} 的波动。 ± 5 毫秒的同步失配在 Q_3 值介于 900sccm - 1300sccm 的范围内时均可被所述系统很好地处理。

[0162] P_{114} 的偏移量能够被控制在设计值的 10% 之内。在这种水平上,这些压力瞬变不会对系统性能造成任何显著的损害。在 10% 之内的较小的压力增加在清理过程中可产生较小的气体停留时间增加。然而,鉴于大约为 $10^{14}x$ 的清理效率,清理效率的轻微下降 (在试验模拟条件下,在最坏的情况下被模拟为大约 6x) 无关紧要。因此,由于化学试剂剂量调配截止阀 110、110' 的关闭引起的 P_{114} 的瞬变并不是设计所关心的主要问题。然而,这些瞬变如果需要能够通过以下措施中的一种措施或组合使用这些措施得到高效地校正:(1) 将清理气体输送管线 101、102 和 103 (图 1) 分成两条,所述两条管线将 1000sccm 的惰性清理气体分成相等或不同的流量,但流量总和仍为 1000sccm ;启动一条清理气体管线同时关闭所述化学试剂剂量调配截止阀;然后延迟一会再启动第二条清理气体管线;(2) 降低抽取控制室 116 的容积;(3) 增加气体分配室 (喷头) 104 的容积;以及 (4) 在关闭抽取源截止阀 120

与随后打开清理源截止阀 102 之间使用长为几毫秒的可良好控制的延迟。例如,在化学试剂剂量调配步骤开始时的化学试剂剂量调配截止阀 110、110' 与抽取源截止阀 120(图 12)之间的同步可通过引入大小在 0 毫秒-10 毫秒范围内的延迟而得到改变。被最优化成可使用 500 毫秒以下的周期时间沉积 Al_2O_3 的 TMA 和 H_2O 的剂量调配步骤均得到了试验。在试验了的范围内,我们发现阀的这种较大的异步基本上不会产生影响。

[0163] 在根据本发明的某些优选实施例中,压力调节与流量调节同步进行。例如,在化学试剂剂量调配的过程中压力的增加通过增大进入抽取控制室 116 的流量 Q_3 (图 6)来实现。例如,模拟计算表明沉积室压力 P_{114} 与 Q_3 之间存在半线性的关系。因此, P_{114} (mTorr)可用公式 $7.5+0.085 \times Q_3$ 近似得到。 H_2O 剂量调配的反应率可在以下条件下进行的 Al_2O_3 沉积的过程中测试,即 TMA 处于饱和状态和 H_2O 处于 $\sim 70\%$ 的饱和度下。性质上, H_2O 的反应率在较高的剂量调配压力下可得到提高。较高的压力在化学试剂剂量调配阶段的过程中是有益的,其能够增加通量和加速反应。然而,绝大部分的 ALD 处理在压力处于 100mTorr-200mTorr 的范围内可在 10 毫秒-50 毫秒内达到饱和。因此,压力调节通常不是必须的。另外,在不同化学试剂的不同的化学试剂剂量调配阶段中使用不同压力进行流量和压力的同步调节非常重要,并且需要与 120 和 121 并联布置的另外的抽取源截止阀和抽取源 FRE,以利于抽取气体例如以三种(可选择的)不同的抽取气体流量进入抽取控制室 116。具有并联布置的另外的截止阀和抽取源 FRE 的实例示于图 10 所示的 ALD 系统 500 中。系统 500 包括与 120 和 121 并联布置的抽取源截止阀 530 和抽取源 532。

[0164] 通过设计 ALD 化学反应可产生固体膜。这些膜如果沉积在泵、阀和测量仪的内部就会加快对下游支管的损害。实际情况和成本因素将温度限制成这样,即在下流支管处可保持低于 200°C ,但通常保持在大约 100°C 和更低。因此,下游支管的壁易于显著地吸收 ALD 型化学试剂,并且易于多孔和疏松的沉积物的生长。这些劣质沉积物会很快地阻塞下游支管,并且还会在系统中造成严重的颗粒污染。此外,维护操作通常需要将下游支管完全拆开,并且清洁处理工作非常令人厌烦和昂贵。

[0165] 根据本发明的优选实施例可去除化学试剂,从而可减少和避免与化学试剂沉积在非基板表面上有关的问题。有效的化学试剂去除可将在离开沉积室的(要抽出的)处理气流中存在的未反应的化学试剂除掉,从而不需要维护下游支管,并且可延长泵、阀和测量仪的使用寿命。因此,可降低主要成本和延长正常运行时间。可在不影响 ALD 系统的性能或效率的情况下通过多种设计方法实现一种集成式去除系统。

[0166] 在根据本发明的 SMFD 型 ALD 系统和方法中流出沉积室的(抽出的)处理气流所含有的未反应的化学反应气体量为传统的大致 $1/10$ 。因此,根据本发明的实施例特别非常适合于实现几乎完全的化学试剂去除。而且,图 1 中的抽取控制室 116 非常适合于去除化学试剂,这是由于它具有以下特征,即其对回流具有非常强的抑制作用,并且具有与沉积室中的停留时间无关且可显著延长的停留时间,而且最为重要的是其在化学试剂剂量调配阶段的过程中可流入高流量的气体,所述气体可以是惰性的或活性的,并且其能够促使以相当大的效率在很容易拆除的表面或能够很容易地在抽取控制室内原地清洁的表面上沉积出高质量的膜。

[0167] 根据本发明的集成式化学试剂去除系统的目的是提供一种界限分明的场所和界限分明且可低成本维护的表面,用于以从 ALD 沉积室中抽取的方式将活性化学试剂从处理

气体中去除掉,从而可防止在更下游的位置上沉积出不良固体沉积物。因此,希望与沉积室尽可能近地执行化学试剂的去除,这是由于在流路中没有沉积物生长的情况下于更下游的位置上排出活性化学试剂非常复杂、昂贵,并且通常是不可能的。集成式去除系统的另一个目的是将化学试剂在相对大的表面上转化为高质量的膜,所述表面可增加去除装置的去除容量和延长所需要的维护之间的间隔时间。

[0168] 目前公知的绝大部分的ALD处理均是使用两种不同的化学试剂例如 ML_x 和 AH_y 执行的。这些化学试剂之一的 ML_x (含有金属或半导体原子的前体)通常比另一种前体的活性强很多。当活性较强的前体例如 ML_x 被大致去除而只有活性较弱的前体例如 AH_y 残留在排出物出口中时,化学试剂的去除就会有效地完成。便利地,固体产生的前体 ML_x 的去除可有效地使排出气体的剩余物失去活性和易于挥发。这样,由于所选定的良好的ALD前体稳定并且不会起反应或独自分解,因此固体沉积物的生长可得到有效地抑制。通过去除金属前体 ML_x ,可以防止固体材料在下游支管中积聚。然后,可采用传统公知的化学试剂去除技术在泵的上游或下游去除活性较弱的化学试剂前体、反应副产物以及其他挥发性化合物。

[0169] 通常,仅有一种ALD前体即含有前体 ML_x (例如,三甲基铝)的金属(或半导体)形成固体沉积物。通常,另一种前体 AH_y (例如, H_2O)优选高压供给,以加快较慢的化学反应。如果需要,SMFD能够甚至以100%的浓度进行 AH_y 的剂量调配。因此,去除处理会消耗掉所有 ML_x 或绝大部分 ML_x ,但通常仅消耗很小一部分的 AH_y 。

[0170] 不论是传统的ALD系统还是根据本发明的SMFD型ALD系统,任何实际的ALD系统均可高效率地操作以仅提供最短的清理时间来将ALD前体清理出沉积室。尽管 ML_x 前体能够通过去除处理去除掉,但 AH_y 前体趋向于积聚在去除空间中。此外,去除室必须具有相当大的容积,并且还需要包含大面积的表面,从而会使去除室甚至更难清理和更易于使 AH_y 前体积聚。在最优化的高流量ALD处理的过程中 AH_y 在去除室中的有限局部压力的积聚通常无法得到避免。去除膜(沉积物)的质量反比于 AH_y 的局部压力。 AH_y 的局部压力越大,膜的质量越差。去除操作的目的是促进高质量膜沉积物的生长。SMFD通过以下方法有效地降低了 AH_y 在所述去除空间中的局部压力,即在化学试剂剂量调配的过程中提供高度稀释的通过抽取控制(去除)室的抽取气体和在清理阶段的过程中提供较高流量的清理气体。因此,SMFD可固有地提供一种用于提高去除膜的质量的机制。

[0171] 在传统的ALD系统中, AH_y 的局部压力的积聚会使 AH_y 不利地反向扩散,即从所述去除室向上游回流到所述沉积室中。这样, AH_y 就会在所述沉积室中产生不利的CVD特征。相比而言,根据本发明的SMFD通过降低 AH_y 的积聚的局部压力和提供可阻止扩散的相当强的前向流动能有效地抑制从所述抽取控制(去除)室发生的可能扩散。

[0172] 具有集成式化学试剂去除系统的根据本发明的SMFD的某些实施例使用ALD化学试剂来促进在位于所述抽取控制室内的大表面积的去去除元件上的CVD和ALD反应。例如,抽取控制室208的热内壁225(图2)使用可增大表面积的多孔金属或陶瓷制造,所述热内壁225可保持在热板温度下或作为一种替代性方法也可保持在可单独控制的高温下。抽取控制室208中的大的表面积和相对较长的停留时间被设计用于高效率且几乎100%地消耗掉绝大部分的活性化学试剂。从而,下游的固体沉积物的绝大部分是位于可拆卸插块上的高度定位的高质量膜,所述插块能够拆下来清洁,或可在抽取控制室208内原地清洁。当原地清洁不可行时,抽取控制室208的外壁221(图2)可通过可拆卸衬垫保护。

[0173] 去除元件的设计和材料成分以及孔隙度取决于 ALD 处理的特殊的化学反应物和 SMFD 反应器容器的设计。一种示例的化学试剂去除元件 400 的设计以示意形式示于图 9 中。去除元件 400 包括具有 50% 的孔隙度的活性钨, 孔的尺寸为大约 $50\ \mu\text{m}$ 和 $1/8$ " 厚。去除元件 400 通过使用凸缘 401 连接在热基板保持器 205 的底部上。两个去除元件 400 连接在保持器 205 上以形成一个径向元件。所述两个去除元件被设计成可通过配合台阶 405 相互锁定起来。内壁 402 形成环形抽取控制室 208 (图 2) 的内壁 225。去除元件 400 由两个互补部件组装而成, 所述两个互补部件更适合于在维护过程中快速组装和拆卸。外环 403 (图 2 中未示出) 使面积再次得到了增加, 并且其与抽取控制室 208 的外壁 221 十分接近。环 402 和 403 通过几个翅片 404 互相连接起来, 所述翅片 404 由多孔 W 类似地制成。一对组装好的去除元件 400 可提供大约 1000cm^2 – 2000cm^2 的宏观面积 (平面钨的面积) 和大约 15000cm^2 – 30000cm^2 的实际面积。所述一对组装好的去除元件 400 适合于 2 升的抽取控制室, 并且被设计成这样, 即在通常用于生长出高质量的 Al_2O_3 膜的 TMA– H_2O ALD 处理的过程中可从所述沉积室排出的抽取气流中捕获大约 99.9% 的三甲基铝 (TMA)。

[0174] 使用了根据本发明的 SMFD 装置和方法的 Al_2O_3 的 ALD 沉积证明了可高效率地将 TMA 从废气流中去除。由于 SMFD 具有非常高的化学试剂利用效率并且与传统的 ALD 装置相比 SMFD 通过使惰性气体始终以高流量流过所述去除空间可固有地将 AH_x 保持在较低的水平上, 因此可在位于所述抽取控制室中的去除表面上生长出质量良好的 Al_2O_3 膜。在稍高于饱和状态的高的 H_2O 剂量的条件下, 可观察到在所述去除元件的一些区域上生长出一些劣质膜。高质量的去除膜是透明的并且具有良好的干涉图样。相比而言, 劣质膜通常具有白色的粉末状外观。因此, 所述去除装置和方法可通过增大抽取气体的流量以进一步增大 H_2O 的利用率而得到改进, 并且同时可使 H_2O 在所述抽取控制室中被再次稀释。此外, TMA 去除通过在 TMA 剂量调配步骤的过程中和 TMA 剂量调配步骤完成之后不久向所述抽取控制 / 去除室注入缓慢的臭氧流而能得到更显著的改善。以下将描述的这种臭氧注入与 ALD 处理同步进行。

[0175] 当抽取控制室具有小的容积 (例如, 1 升或更小) 时, 或者当 ALD 前体在去除元件 400 所保持的温度下不能足够快地反应时, 或者当希望较小面积的去除元件 (通过抑制抽取控制室的存储) 来降低 AH_x 的积聚效应或降低成本时, 根据本发明的实施例可在不牺牲 ALD 性能的前提下通过以下措施中的一种或几种被修改得可增加去除效率。

[0176] 在 ML_x 化学试剂的化学试剂剂量调配阶段的过程中通过向抽取控制室 116 通入取代惰性气体的活性去除气体或者同时通入这两种气体可增强化学试剂的去除效果。添加选定的活性气体可提供一种活性 CVD 途径, 以在所述去除元件的面积上产生高质量固体膜的沉积, 从而可将化学试剂从处理气流中去除。例如, 在 TMA 的化学试剂剂量调配的过程中向抽取控制室 116 中添加臭氧可使 Al_2O_3 的 CVD 膜以非常高的效率沉积在去除表面上。臭氧的去除处理可有益地对抗和控制支配 ALD 前体之间的所不希望的 CVD 反应, 并同时使得能够使用显著较小面积的表面进行高效率的去除。这种方法对于绝大部分的 ALD 处理非常容易实施, 以将绝大部分的活性 (例如, 金属) 前体从废气物中去除。臭氧容易产生, 并且从市场上可获得各种合适的臭氧发生器, 例如 MKS ASTeXAX8400。

[0177] 在不会不利地影响抽取控制室 116 的气体动力学或停留时间的前提下通过使用可提供具有较大容积的去除空间的第二单独的去除室能够提高化学试剂的去除效果。图 10

以示意形式示出了包括单独的去除室 502 的根据本发明的 SMFD 型 ALD 系统 500, 其提供了大面积的去除表面和非常大的气体停留时间。含有未反应的化学试剂前体的气体通过抽取控制 FRE 117 流出抽取控制室 116。在去除室 502 中的化学反应之后, 气体通过去除室 FRE 504 流至真空泵 125。在某些实施例中, 一个截流闸阀以流体连通的方式串联在去除室 502 与抽取控制室 116 之间, 以便在不需破坏沉积室处的真空的情况下就能够对所述去除室进行维护。而且, 如上所述, 活性气体有助于进一步提高去除室 502 的去除效率和沉积物的质量。在某些实施例中, 惰性气体保护管能够用于防止在抽取控制室 116 与去除室 502 之间的管段中生长出沉积物。这种类型的管的设计描述于于 1998 年 10 月 27 日授予 Youfan Gu 的美国专利 No. 5827370 中, 所述专利结合在此作为参考。

[0178] 在去除室 502 内产生等离子体可进一步提高化学试剂的去除效果。等离子体形成气体例如 Ar 有助于改善等离子体的特性, 并且可被作为抽取控制气体的一部分或整个抽取控制气体提供。

[0179] 图 10 中的系统 500 还包括一个臭氧发生器。氧气由氧气源 510 供给臭氧发生器 512, 在此, 所述氧气连续不断且部分地转变为臭氧。O₂/O₃ 的混合物通过臭氧真空阀 514 和臭氧真空 FRE 516 流到真空泵 125。当在一种前体例如 ML_x 的化学试剂剂量调配的过程中需要去除操作时, O₂/O₃ 的混合物通过关闭真空阀 514 和打开臭氧源阀 520 可通向去除室 502, 从而臭氧混合物可通过臭氧源 FRE522 流入去除室 502 中。

[0180] 根据本发明的 SMFD 系统的维护程序根据应用场合不同而不同。一般而言, 优选原地维护。抽取控制室 116 和 / 或去除室 502 的原地维护优选利用所述系统的回流抑制特性进行, 以便能对室 116、502 进行剧烈有效的清洁, 否则就会损坏沉积室 114。例如, 硅或钨的化合物能够使用 NF₃、ClF₃ 和其他氟源去除。最初, 沉积室 114 和抽取控制室 116 中的沉积物使用温和程序清洁, 以防止可能对所述沉积室内的敏感元件例如晶片保持器、晶片升降销等造成损坏。一旦所述沉积室被清洁了时, 所述沉积室就可得到通过所述气体分配室的缓慢流动的惰性气体保护。然后, 抽取控制室 116 和去除室 502 内的更显著多的沉积物使用显著更剧烈有效的清洁方法清洁, 同时回流抑制作用可防止大量的氟和其他高能物质影响所述沉积室。

[0181] 在其他通常情况下, 可用的 ALD 膜例如 Al₂O₃、HfO₂ 等不能原地清洁。在这些情况下, 将可拆卸的插块从所述沉积室上拆下, 然后更换为一个清洁的插块。

[0182] 如上所述, 集成式去除系统可延长维护计划, 并且能有效地抑制性能的损害。沉积物局限于高质量膜, 所述高质量膜的厚度在绝大部分的情况下可生长到大于 100 μm 而且不会发生脱落。因此, 大量的晶片甚至在所述系统不能原地清洁时也可在没有维护中断的情况下处理。此外, 维护程序所需的时间可降低到这样的工业标准, 即用于更换很少的部件和重新达到工作要求的停机时间为几个小时。而且, 所述去除系统可将固体沉积物从下游管和构件中去除。

[0183] 一般而言, 不必对压力执行任何主动控制。如参照图 6 和公式 (16)、(17) 和 (18) 所述, SMFD 型 ALD 室中的压力由多个 FRE 和气体源例如抽取气体源 101、清理气体源 101 和化学气体源 105 (图 1) 的可控压力决定。还知道抽气速率漂移只对沉积室压力 P₁₁₄ 和气体流入流量和抽出流量产生较小的影响。因此, 通常不必在泵处例如 FRE 117 的出口 (图 1) 处对压力进行主动控制。然而, 当必要或希望时, 可通过传统技术例如控制机械 (涡轮分子

泵、干泵和罗茨风机等) 泵的速率或通过普通节流装置在真空泵处对压力进行主动控制。作为一种替代性方法, 如图 11 所示, 根据本发明的系统 550 包括一个压力控制室 560, 其位于抽取控制室 116 的下游并介于抽取控制 FRE 117 与真空泵 125 之间。压力控制 FRE 562 位于压力控制室 560 与真空泵 125 之间。惰性气体 (例如, 来自抽取气体源 101) 通过比例阀 564 和 FRE 566 进入压力控制室 560。所述压力可通过一个合适的压力计例如电容压力计 568 测量。通过在抽取控制 FRE 117 的下游提供良好控制的压力可提供另外的稳定作用来抵制泵漂移。反馈控制可补偿相对较慢的变化, 任何快速变化例如快于 10 秒的变化均通过电子方法过滤掉。

[0184] 根据本发明的流入流量和抽出流量的同步调节可使以非常低的流量进行化学试剂剂量调配。一般而言, 所述抽取控制室优选较小容积而不是较大容积。首先, 小容积的抽取控制室可在系统中提供快速的抽取控制响应。其次, 在清理阶段的过程中小容积能够比大容积更有效地清理。例如, 具有大约 400cc 的容积且被设计得足能处理 200 毫米的硅晶片的沉积室使用具有 100cc 或更小容积的抽取控制室就可良好地操作。

[0185] 根据本发明的实施例的特征在于, 化学试剂剂量调配的流入流量和抽出流量相对较低。在传统的 ALD 装置中, 大小为几百 sccm 的典型的化学试剂剂量调配流量通过相对较大的气体排量可对扩散产生显著抑制作用。相比而言, 在根据本发明的实施例中, 化学试剂剂量调配流量设计得较小 (例如, 小于 50sccm)。在清理步骤的过程中小的抽取控制室容积可得到有效地清理, 从而可将残留的化学试剂抑制在非常低的水平。此外, 在化学试剂剂量调配阶段的过程中通常较大的抽取气体流量可进一步稀释残留化学试剂的浓度。因此, 扩散可得到有效地抑制。

[0186] 然而, 经常希望使用一种能够执行去除操作的大容积抽取控制室。此外, 抽取控制室中的去除元件可显著地增大化学试剂在抽取控制室中的有效停留时间。如图 1 所示, 在系统 100 中, 当使用了大容积的抽取控制室时, 在化学试剂剂量调配的过程中所保持的从所述沉积室抽取的小抽出流量不必提供足够大的气体排量, 以便能够抑制材料通过扩散向上游传送至所述沉积室中。例如, 在 300°C 下 N_2 中的 H_2O 在 N_2 处于 200mTorr 的压力下时具有大约 $3000\text{cm}^2/\text{sec}$ 的扩散常数。因此, H_2O 从抽取控制室 116 向上游进入沉积室 114 中的扩散在某些情况下会向沉积室 114 中传输相当大流量的 H_2O 。

[0187] 因此, 在某些优选实施例中, 回流扩散的有效抑制可通过在所述沉积室与所述抽取控制室之间设置一个小容积的抽取气体导入室 (Draw Gas Introduction Chamber, “DGIC”) 得到实现。从 DGIC 向上游回流到所述沉积室中的扩散实际上微不足道。从大容积 (并且设计得具有长存储时间) 的抽取控制 (去除) 室进入 DGIC 后再进入所述沉积室中的扩散会受到从 DGIC 进入所述抽取控制室中的大流量的抽取气体抑制。

[0188] 图 12 以示意形式示出了一种示例 SMFD 型 ALD 气体支管系统 600, 其包括一个 DGIC 并且根据本发明操作以提供高质量的 ALD 薄膜。

[0189] 系统 600 包括一个稳压惰性气体导管 602, 惰性清理气体和惰性抽取气体均从所述稳压惰性气体导管流出。惰性气体罐 604 通过一个现有技术中公知的气压调节器连接着压力控制器 606。MKS640A 型压力控制器例如适合。质量流量计 608 在稳态流的条件下可非常便利地限定和测量流量。导管 602 处的压力波动可被气体预热容器 610 限制在合适的水平上, 例如低于 0.1%。选择气体预热容器 610 的容积例如 1.5 升来抑制压力波动和为惰

性气体提供足够大的停留时间,以使惰性气体基本达到 ALD 气体支管的温度或其他任何选定的温度。

[0190] 惰性气体流在导管 602 处被分成两股分别流入包括清理源 FRE 103 的 ALD 清理管 612 和抽取控制管 119 中。另一个实施例(未示出)包含单独的压力控制器和加热容器,以分别用于支管的清理和抽取部分。本领域的技术人员可以理解,清理气体输送和抽取气体输送的许多不同的结构能够根据本发明实施,所述不同的结构包括:支管的完全分离、不同和单独的气体源的使用以及用于清理和抽取控制的不同的气体温度。

[0191] 增压的气体导管 602 通过清理源 FRE 103 和清理源截止阀 102 以连续流体连通的方式与气体分配室 104 连接。在一个优选实施例中,清理源 FRE 103 的功能被设计和包含在清理源截止阀 102 的结构中,以创建一个单独装置和使由阀 102 与 FRE 103 之间的容积引起的压力尖峰最小化。

[0192] 清理气体通过清理源截止阀 102 和清理源节流元件(“FRE”)103 供入气体分配室 104 中,所述气体分配室 104 通常是一个喷头。如图 12 所示,清理源截止阀 102 和清理源 FRE 103 在清理气体源 101 与气体分配室 104 之间提供连续流体连通。一种化学反应物前体在多个化学气体源 105、105' 处被以良好控制的压力提供,所述化学反应物前体采用下述形式:纯化学气体,源于液体或固体化学试剂的蒸气,或者蒸气或气体化学试剂与惰性气体的混合物。化学气体源 105 通过化学试剂源 FRE 106 以连续流体连通的方式与增压室 107 连接。增压室 107 通过化学试剂剂量调配截止阀 110 和增压室 FRE 109 以流体连通的方式串联着气体分配室(喷头)104。如图 12 所示,化学试剂剂量调配截止阀 110 和清理排气截止阀 108 在系统 100 的气体支管系统的并联支路中均包括一个普通的二通阀,所述并联支路从接点 123 分叉。

[0193] 如图 12 所示,第二化学气体源 105' 使用与参照化学气体源 105 描述的那些装置相同的装置与喷头 104 连接。

[0194] 在优选实施例中,FRE 109 的功能被设计和包含在化学试剂剂量调配截止阀 110 的结构中,以创建一个单独装置和使由 FRE 109 与阀 110 之间的容积引起的压力尖峰最小化。相似地,另外的化学试剂源例如化学气体源 105' 通过相应的支管元件 106'、107'、109' 和 110' 与气体分配室 104 连接。

[0195] 气体分配 FRE 113 在气体分配室 104 与原子层沉积室(“ALDC”或“沉积室”)114 之间提供了连续流体连通。在气体分配室 104 为一个喷头装置的优选实施例中,气体分配 FRE 113 通常为一个喷嘴阵列 113。喷嘴阵列可从气体分配室 104 向沉积室 114 提供受限制且均匀的流入流量,其中,所述沉积室 114 含有一个热基板保持器 620。沉积室 114 通过沉积室 FRE 115 以流体连通的方式串联着一个小容积的抽取气体导入室(“DGIC”)630。惰性抽取气体源 604 通过抽取气体管 119、抽取源截止阀 120 以及抽取源 FRE 121 以流体连通的方式串联着 DGIC 630。抽取气体导入室 630 通过 DGIC-FRE 632 以流体连通的方式串联着抽取控制室(“DC”)116。化学试剂去除元件 634 安置在抽取控制室 116 内。抽取控制室 116 通过抽取控制出口 124 和抽取控制 FRE 117 以流体连通的方式串联着泵室 636。压力计 638 连接着抽取控制室 116。压力计 638 例如 MKS Baratron 628 型通过例如抽取控制室 116 中的平均压力监测处理。相似地,其他处理监测装置(未示出)例如气体分析仪能够便利地连接着抽取控制室 116。低压力计 644 例如 HPS I-Mag 冷阴极计连接在泵室

636 上,以在停机时间过程中监测室压。涡轮分子泵 640 通过抽气闸阀 642 连接着泵室 636,以有利于在停机时间过程中实现高真空和在 ALD 操作过程中实现高流量的流动。例如,从 BOC-Edwards STPA 系列中选择的泵是合适的。在 200 毫米的硅晶片上进行 ALD 沉积的良好性能可通过使用 STPA 1303C 泵获得。涡轮分子泵 640 使用前级泵 642 抽空。例如,BOC QDP40 或等价物可很好地用作前级泵 642。在根据本发明的其他实施例中,如现有技术所知,较高抽气速率的泵的结构例如来自于 BOC Edwards 的 QMB 系列有利于使干泵放置在远处。

[0196] 在某些优选实施例中,向抽取控制室 116 中添加活性气体,以增强化学试剂去除效果。因此,系统 600 包括一个臭氧供给支管。氧气或氧气与氮气的混合物从气罐 650 供给。质量流量控制器 652 对进入市场上有售的臭氧发生器 654 中的气体流量进行控制。例如,MKS Astex AX8407 系列的臭氧发生器在 SMFD 系统 600 中可良好地运行。臭氧发生器 654 的输出量可通过臭氧监测器 656 监测,从而可通过反馈控制使臭氧浓度保持稳定。压力控制器 658 例如 MKS 640A 型可使臭氧发生器 654 内保持着所选定的恒定压力。为了在保持臭氧发生器 654 的正确操作所必需的控制流量和压力的前提下将臭氧以脉冲方式输送到 DC 116 中,臭氧储备箱 660 可选择具有这样的容积,即该容积可抑制臭氧的脉冲式输送对臭氧发生器 654 内的压力产生的影响。从而,可在使臭氧发生器 654 保持着预期流入流量和压力的情况下使活性臭氧以脉冲方式输送到抽取控制室 116 中。压力控制器 662 控制臭氧储备箱 660 中的压力。通过将臭氧供给支管保持在大致室温下和使臭氧发生器 654 与 DC 116 之间的滞流体积最小化可使系统 600 支管中的臭氧降解最小化。例如,滞流体积在图 12 中由阀 664 与接点 668 之间的盲管段示意性地示出。臭氧通过双壁管的内管供到臭氧截止阀 664 和臭氧源 FRE 666,并且通过内、外管之间的回流供到压力控制器 662 的入口。通过采用这种方式,滞流空间中的臭氧消耗的影响可通过将阀 664 与接点 668 之间的盲管段的容积降至小于 1cc 而得到最小化。优选地,臭氧去除催化转化器 670 安置在泵 642 的出口处,以防止臭氧排放到周围环境中。

[0197] 在优选实施例中,如图 13 所示,化学试剂剂量调配截止阀 110、110' 的功能被集成在多端口化学试剂导入阀 700 中。阀 700 包含一条从入口 701 至出口 702 的清理气体路径。化学试剂管使用现有技术中所公知的标准连接件例如 VCR 或 C 型密封件连接起来,其中,所述标准连接件例如可为 VCR2 连接器 (1/8" 标准面密封件) 706。化学试剂通过流路 716 供给。所述阀通过正常情况下关闭的致动器 708 密封,所述致动器 708 的外部使用密封件 712 密封在阀体 718 上。当致动器 708 未被供能启动时,节流孔 714 由弹性体 710 动态密封。当所述致动器被供能启动时,例如当致动器 709 处于图中所示的状态时,所述流路打开。由于节流孔 714 的容积能够保持为 $1-5 \times 10^{-4}$ cc,因此这种设计可使与阀支管相关的盲管段最小化。响应时间在毫秒和亚毫秒范围内的电动阀最适合于用作致动器。例如,由 Parker Hannifin 公司的 General Valve Division 生产的 99 系列随转阀使用时具有可靠的性能。具有长度和直径均为 2 毫米 (容积为 ~ 0.0004 cc) 的节流孔 714 的设计阀 700 在以下条件下得到了充分试验和运行,即清理气体的流量介于 500sccm-1200sccm 的范围内且压力为 2Torr-10Torr。化学试剂导入阀 700 由于不再需要阀盲管段清理排气管例如图 1 中的管 112 而简化了 ALD 支管的设计。另外的简化可通过取消化学试剂清理排气阀例如图 1 中的清理排气截止阀 108 来实现。

[0198] 实例 1

[0199] 一种与图 12 的系统 600 对应的示例 SMFD 型 ALD 系统被设计和构造成根据本发明执行 SMFD 型 ALD, 以便使用反应气体三甲基铝 (“TMA”) 和 H₂O 沉积出 Al₂O₃。对所述示例系统的使用图 12 中的附图标记表示的各种构件的描述包含在下面的表 2 中, 表中列出了合适的结构设计、尺寸和功能特点。在所述示例系统的操作过程中的处理参数设定的、测量的或计算的优选值列于表 3 中。列于表 3 之下的定义和附注在表 2 和 3 中通过数字 (1) 至 (11) 注明。

[0200] 表 2

[0201]

构件附图标记	设计	优选值
608MFM(1)	MKS	0sccm-2000sccm
606 压力控制器	MKS640A	0Torr-1000Torr
610 气体预热容器	铝制容器	1500cc
103FRE	长管	0.052L/sec(4)
106FRE	长管	0.030L/sec(5)
106' FRE	长管	0.010L/sec(6)
109FRE	长管	0.52L/sec(5)
109' FRE	长管	0.52L/sec(6)
104FDC	圆形	25cc
113FRE	间距相同的 624 个喷嘴	长为 0.125”; 直径为 0.055”
114PC	圆形 (3)	400cc
115FRE	圆形缝隙 (3)	600L/sec(2)
630DFIC	中心对称 (3)	85cc(大约)
632FRE	圆形 (3)	1000L/sec
116DC	中心对称 (3)	3L
121FRE	长管	0.56L/sec(7)

构件附图标记	设计	优选值
666FRE	长管	0.70L/sec (8)
117FRE	中心对称 (3)	80L/sec (2)
636 泵室	中心对称 (3)	~ 1.5L
640 涡轮分子泵	BOCEdwardsSTPA 1303C	1300L/sec, 3000sccm
107H ₂ O 增压室	圆柱形	35cc
107' TMA 增压室	圆柱形	5cc

[0202] 表 3

[0203]

处理参数	典型值
晶片温度	300°C
流量 - 清理	1000sccm
流量 - 抽取	1100sccm
起始时的 TMA 的流量	500sccm (9)
起始时的 H ₂ O 的流量	810sccm (9)
稳态时的 TMA 的流量	9sccm (9)
稳态时的 H ₂ O 的流量	45sccm (9)
TMA 蒸气压力	12Torr (10)
H ₂ O 蒸气压力	20Torr
DC 压力 - 清理	160mTorr
DC 压力 - 剂量调配	230mTorr
ALDC 压力 - 清理	194mTorr (11)
ALDC 压力 - TMA 剂量调配	230.3mTorr (11)

处理参数	典型值
ALDC 压力-H ₂ O 剂量调配	231.7mTorr(11)
SH 压力(清理)	~ 370mTorr(N ₂ 在 140℃下)
支管温度	140℃
N ₂ 压力	250Torr

[0204] 表 2 和表 3 的定义和注解：

[0205] 1. MFM- 质量流量计

[0206] 2. N₂ 在 200mTorr 和 300℃下

[0207] 3. 然而, SMFD 可实现线性流动设计或其他任何设计,特别是可实现用于涂覆非圆形基板的设计。

[0208] 4. N₂ 在 250Torr 和 140℃下

[0209] 5. H₂O 在 20Torr 和 140℃下

[0210] 6. TMA 在 12Torr 和 140℃下

[0211] 7. N₂ 在 250Torr 和 35℃下

[0212] 8. O₂ 在 250Torr 和 30℃下

[0213] 9. 在 140℃下, N₂ 的等价物

[0214] 10. 基于 Epichem 数据

[0215] 11. 计算的

[0216] 在所述示例 SMFD 型 ALD 系统中,如图 13 所示,化学试剂剂量调配截止阀 110、110' 的功能被集成在多端口化学试剂导入阀 700 中。

[0217] 使用化学反应气体三甲基铝(“TMA”)和 H₂O 进行的 Al₂O₃ 的 SMFD 型 ALD 沉积可根据使用了表 2 和 3 中给出的装置和操作参数的本发明执行。阀 102、700 和 120 根据本发明动作,以实现包括以下阶段的 ALD 周期:TMA 剂量调配、TMA 清理、H₂O 剂量调配和 H₂O 清理。剂量调配和清理时间可以变化,然后对变化结果进行研究确定了如下所列的最短的剂量调配和清理时间：

[0218] 三甲基铝剂量调配,到达饱和的最短时间:20 毫秒；

[0219] H₂O 剂量调配。到达饱和的最短时间:70 毫秒；

[0220] 三甲基铝清理:100 毫秒；以及

[0221] H₂O 清理:150 毫秒。

[0222] 在优选操作条件下,薄膜和气体成分的测量结果如下：

[0223] 在晶片厚度的均匀性方面:最大-最小:< 3%, σ < 1%。

[0224] 晶片与晶片之间的厚度重复性(140nm 的累计厚度):对于总范围来说 < 0.6% (对于 σ 来说 < 0.2%)。

[0225] 三甲基铝利用率:> 20%。

[0226] 三甲基铝增压室效果:在 10 毫秒时 > 98%。

[0227] 此外,臭氧由于可将 TMA 从废气流中去除并且可在去除元件 634(图 12)上产生高

质量的沉积物而有利于实现有效去除。特别地,面积仅为 $\sim 3000\text{cm}^2$ 的由表面粗糙的铝制成的去除元件可用于表 3 所述的处理之中。臭氧直接供给根据图 12 所示的所述装置的抽取控制室中。介于 150sccm-250sccm 的范围内的流量可有效地执行去除操作。

[0228] SMFD 可使在标准半导体晶片上的 ALD 具有亚秒级的周期时间。例如,200 毫米的晶片使用 240 个周期时间为 450 毫秒的周期就可被涂覆得具有异常好的均匀性和重复性。图 14 示出了使用表 2 和 3 列出的系统和操作参数沉积出的 Al_2O_3 薄膜的晶片均匀性图。基板加热器设在 300°C 下。Woolam M-44 椭率计用于测量薄膜。所述均匀性图包括 34 个测量点,所述测量点是沿着十字交叉方向并且在具有 3.5 毫米的边缘排除区域的情况下测量的。晶片切口的方向被标示出。在周期时间为 450 毫秒的条件下的晶片与晶片之间的重复度比在 1400 \AA 的累计厚度上测试的 (1σ) 的 0.2% 要好。 1400 \AA 用作晶片与晶片之间的重复度的标准,以与一批次生产的具有 50 \AA 的厚度(总厚度为 1250 \AA) 的典型的 25 晶片进行对比。在沉积出了几微米的累计厚度之后,SMFD 型 ALD 装置仍能保持着足够好的性能而不会出现性能下降,并且不需要进行室的维护。

[0229] SMFD 可用于在尺寸范围非常大的基板上沉积膜,所述基板面积可从用作研究目的的 $< 1\text{cm}^2$ 至巨大的 $> 1\text{m}^2$ 。基板的物理尺寸限定了 ALD 室的形状和容积,并且还限定了绝大部分的设计数据和处理参数的大小。本说明书特别是实例 1 中描述的本发明的实施例被设计得主要用于处理 200 毫米的半导体晶片。显然,本领域的技术人员能够改变根据本发明的 SMFD 系统和处理参数,以适应半导体技术和其他应用领域中的不同尺寸的基板和不同的生产要求。此外,绝大部分的装置和处理设计参数要与真空泵的特性相匹配。因此,系统性能和装置设计与真空泵的选择紧密相关。具体地讲,表 2 和 3 中所示例的实施例由 BOC Edwards-Seiko-Seike STPA1303C 所能充分使用的最大流量即大约 1500sccm 限定。

[0230] 图 15 和 16 以示意形式示出了优选 ALD 反应器容器 800 的横截面。如图 15 所示,反应器容器 800 包括反应器容器壁 802、反应器容器顶部 804 以及反应器容器底部 806,它们限定了容器内部 808。反应器容器 800 包含气体分配室(喷头)201。在反应器容器顶部 804 上的喷头入口 809 用作化学反应气体和清理气体进入喷头 201 的入口。喷嘴阵列 (FRE) 202 将气体分配室 201 的底部与 ALD 沉积室(处理室)203 分隔开。基板 204 支承在热晶片卡盘(基板保持器)205 上,所述热晶片卡盘 205 由热传导金属(例如, W、Mo、Al 和 Ni) 或通常用于热基座或卡盘技术中的其他材料制成。晶片卡盘 205 包含一个晶片升降销机构 810。如现有技术中所知,晶片的传送借助于升降销 812(仅示出了三个升降销中的一个)完成。使用致动器 814 和悬臂 816 致动晶片升降销 812,以将晶片基板 204 升起在晶片卡盘 205 的上表面的上方。沉积室 203 由沉积室 FRE 206 限制。抽取气体导入室(“DGIC”)820 位于沉积室 203 的下游,并且介于 FRE 206 与 DGIC-FRE 822 之间。抽取控制室(“DC”)208 位于 DGIC 的下游,并且由 DGIC-FRE 822 和抽取控制 FRE 209 限制。化学试剂去除元件 824 安置在抽取控制室 208 内。隔板 826 可使化学试剂去除元件 824 和抽取控制 FRE 209 与热晶片卡盘 205 形成直接热接触。

[0231] 抽取气体入口 830 在抽取气体支管(未示出)和抽取气体增压腔 832 之间提供连续流体流通。本领域的技术人员可以将抽取气体增压腔 832 构造成众多不同的结构,并且图 15 和 16 所示的实施例为非排他性实例。如图 15 所示,抽取气体入口 830 以流体连通的方式串联着径向抽取气体增压腔 832,所述抽取气体增压腔 832 又通过一组径向布置的喷

嘴（未示出）与 DGIC 820 连通，所述喷嘴被适当地分开和设计成可使气体沿着径向均匀地流动分配到 DGIC 820 中和引导抽取气体进入 DGIC 820 的上游部分中。本领域的技术人员可意识到使抽取气体和活性去除气体足够均匀地流动以与沉积系统的对称相一致的重要性，例如，图 15 和 16 中所示的系统为径向对称。

[0232] 活性气体可选择性地通过管 840 从活性气体支管（未示出）输送至活性气体增压腔 842 中。活性气体增压腔 842 用于使活性去除气体均匀地沿着径向流动分配到抽取控制室 208 中。例如，活性气体输送到径向狭槽中，所述径向狭槽通过多个被适当地隔开和设计的水平喷嘴与抽取控制室 208 连通。本领域的技术人员可意识到活性气体增压腔 842 可根据本发明构造成许多不同的结构。

[0233] 在 ALD 处理过程中，清理阶段中的清理气体和化学试剂剂量调配阶段中的化学反应气体沿着处理气体流路朝着下游方向流过反应器容器内部 808，即从喷头入口 809 开始，依次通过喷头 201、沉积室 203、DGIC 820 和抽取控制室 208，最后再通过真空端口 210 排出反应器容器 800。相似地，被导入到 DGIC 820 的抽取气体沿着下游方向从 DGIC 820 流入抽取控制室 208 中，然后再通过真空端口 210 排出。术语“下游”和“上游”在此使用的是它们的通常意思。如上所述，根据本发明的实施例的技术特征是气体的回流即气体沿着“上游”方向的流动决不会出现。然而，术语“上游”在本说明书中是用于指明系统中的构件与部件之间的相对位置。

[0234] 反应器容器 800 还包含一个周边狭槽阀（“PSV”）850。如图 15 和 16 所示，PSV 850 包括：一个穿过反应器容器壁 802 的基板传输狭槽 852、一个位于反应器容器壁 802 之内的连续周边腔 854（图 16）、一个连续周边密封提升头 856 以及一个用于将密封提升头 856 在打开位置（图 16）与关闭位置（图 15）之间移动的致动器 858。密封提升头 856 在处于关闭位置（图 15）时移入周边腔 854，在处于打开位置（图 16）时移出周边腔 854。基板传输狭槽 852 与基板保持器 205 的基板支承面大致共面。周边腔 854 与基板传输狭槽 852 大致共面。当密封提升头 856 处于打开位置（图 16）上时，基板传输狭槽 852 限定了一条通过反应器容器壁 802 直至基板保持器 205 的基板传输通道，并且密封提升头 856 当其处于关闭位置（图 15）上时将基板传输狭槽 852 与反应器容器内部 808 分隔开来。

[0235] 如图 16 所示，反应器容器壁 802 在其内部形成了容器周边 860，并且密封提升头 856 当处于关闭位置（图 15）上时与容器周边 860 一致。周边腔 854 这样连续，即其连续地环绕着沉积室 203 和 DGIC 820。密封提升头 856 这样连续，即其处于关闭位置上时连续地填充在环绕着沉积室 203 和 DGIC 820 的周边腔 854 中，从而可连续地将反应器容器内部 808 与基板传输狭槽 852 和反应器容器 800 的外部相隔离而密封起来。如图 15 和 16 所示，反应器容器壁 802 具有大致径向对称的形状，并且密封提升头 856 具有大致径向对称的形状。可以理解，根据本发明的反应器容器 800 和 PSV 850 的其他实施例也可以具有其他几何形状。如图 15 所示，密封提升头 856 当处于关闭位置上时在反应器容器内部 808 中形成了处理气体流路的内密封壁 862。内密封壁 862 具有径向对称的形状，所述对称形状可促使气体沿着所述处理气体流路径向对称地流动，因此可促进均匀沉积和降低固体沉积物的形成。在图 15 所示的反应器容器 800 的特殊实施例中，内密封壁 862 的一部分构成了 DGIC 820 的一部分。如图 16 所示，PSV 850 包括一个固定上侧密封面 870、一个与固定上侧密封面 870 对应的上提升头密封面 872、一个上侧外围密封件 873、一个固定下侧密封面 874、一

个与固定下侧密封面 874 对应的下提升头密封面 876 以及一个下侧外围密封件 877。上侧密封面 870、872 和下侧密封面 874、876 以及外围密封件 873、877 被构造成这样, 即当密封提升头 856 处于关闭位置 (图 15) 上时可将所述反应器容器内部密封起来。

[0236] 如图 16 所示, 上侧外围密封件 873 和下侧外围密封件 877 分别组装在提升头密封面 872 和 876 上。而且, 密封件 873 和 877 均被构造成为 O 形密封圈。显然, 也可使用不同类型的密封件例如平密封垫片, 并且密封件 873 和 877 也可不组装在提升头密封面 872 和 876 上, 而是组装在固定密封面 870 和 874 上。适合于密封件 873 和 877 的合适材料包含由 Viton、Kalrez、Chemraz 或等价物制成的弹性材料。本领域的技术人员能够以许多不同的结构构造周边狭槽阀 850。

[0237] 当 PSV 850 关闭时, 基板传输狭槽 852 和与基板传输狭槽 852 连通的相关晶片传输系统与反应器容器内部 808 中的 ALD 处理系统完全隔离。

[0238] 根据本发明的优选实施例的操作显示出: 在化学试剂剂量调配的过程中惰性气体以高流量进入 DFIC 820 的前沿可很好地防止在径向裂缝中可能形成膜, 所述径向裂缝形成在 804 和 856 之间和 856 和 802 之间。因此, PSV 的构建可使不会对维护周期产生负面影响。

[0239] 图 17 以示意形式示出了根据本发明的 SMFD 系统 900, 其被设计用于在处理室中为非中心对称流动的情况。尽管根据本发明的优选实施例主要是依照中心对称的流动系统描述的, 但本领域的技术人员可以理解 SMFD 设计适用于其他流动设计。通常地, 沉积室和流路的设计应被最优化, 以适合于基板的形状和所选择的用于控制基板温度的方法。例如, 沉积趋向于在基板例如半导体晶片的一侧上进行的圆形薄基板最适合于使用具有底部支承的可加热卡盘的中心对称系统。然而, 中心对称系统最不适用于极其不圆的基板。例如, 图 17 中的 SMFD 系统 900 被设计用于在杆形或管形基板 905 上进行高效沉积。所述基板安置在细长室 904 中, 所述细长室 904 优选具有 (与基板 905) 大致相似的几何形状。例如, 沉积室 904 可由比基板 905 宽 10 毫米的玻璃管制成。基板 905 支承在卡盘 914 的末端上。加热操作可通过例如感应线圈或通过将沉积室 904 放置在传统的炉式加热套内实现。气体从 901 供给到气体分配室 902 中, 然后再由喷嘴阵列 903 分配。沉积室 904 通过 FRE 906 连接着 DGIC 907。DGIC 907 根据 SMFD 方法的原理被供给抽取控制气体 916。DGIC 907 通过 FRE 908 还连接着 DC909。去除元件 915 位于 DC 909 中。活性气体入口 917 连接着 DC909, 以便于实现高效去除。DC 909 通过 FRE 910 还连接着泵室 911。泵室 911 由泵 913 通过前级真空管 912 抽空。优选地, 抽气操作通过使用 BOC Edwards iQMB 1200F 或 BOC Edwards IPX500A 或等同替换泵实现。

[0240] 根据本发明设计和操作的系统、装置和方法特别适用于 ALD 技术中。然而, 流入流量和抽出流量的同步调节 SMFD 也可用于范围相当大的各种不同情况和应用场合。显然, 本领域的技术人员现可在不脱离本发明思想的前提下对描述的特殊实施例加以多种利用和修改。还显然, 所述步骤在一些情况下可以不同顺序执行; 或者可用等效结构和处理操作来代替所述的结构和处理操作。由于在不脱离本发明的范围的前提下可以对上述系统和方法作出某些改变, 因此在以上描述中包含的或附图中示出的所有部分均应被认为是说明性的而非是限制性的。因此, 本发明将被看作是包含权利要求书中描述的系统、装置和方法中所提出的或这些系统、装置和方法及它们的等同替换所固有的每个和每一新颖特征以及这些

特征的新颖组合。

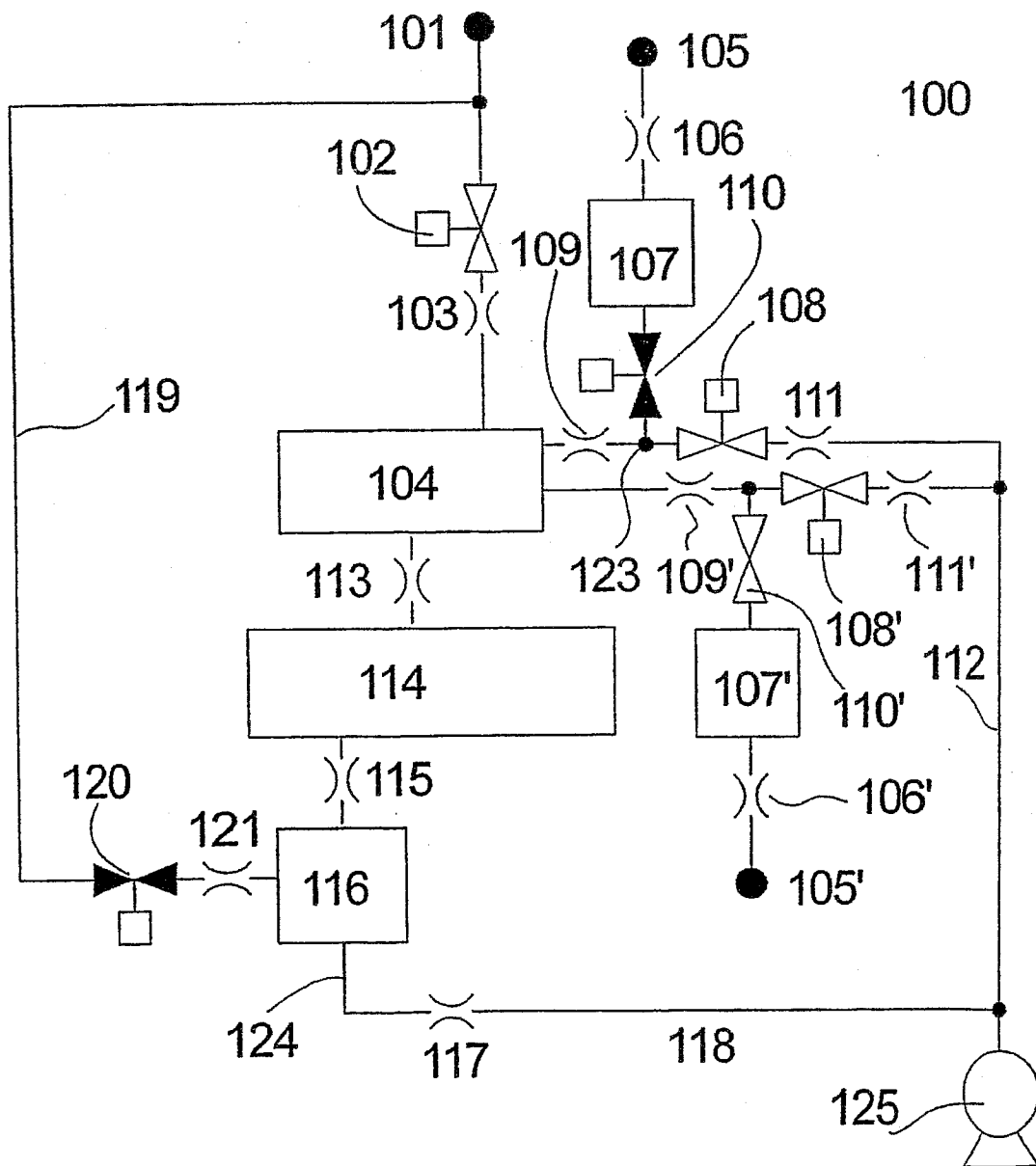


图 1

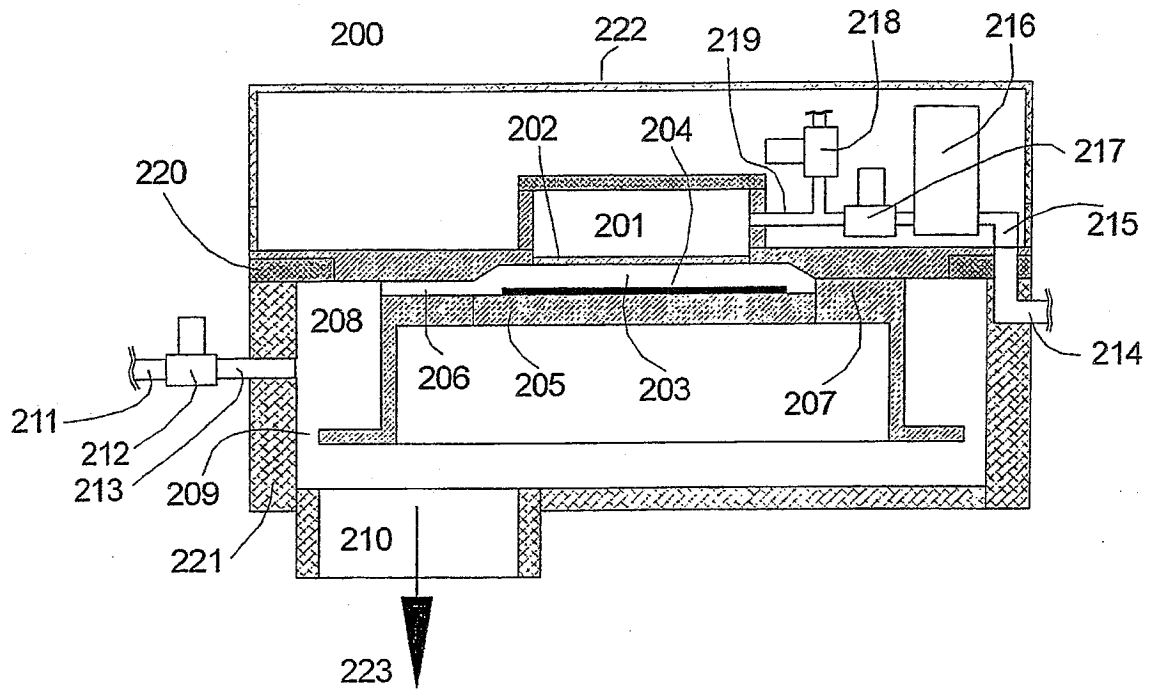


图 2

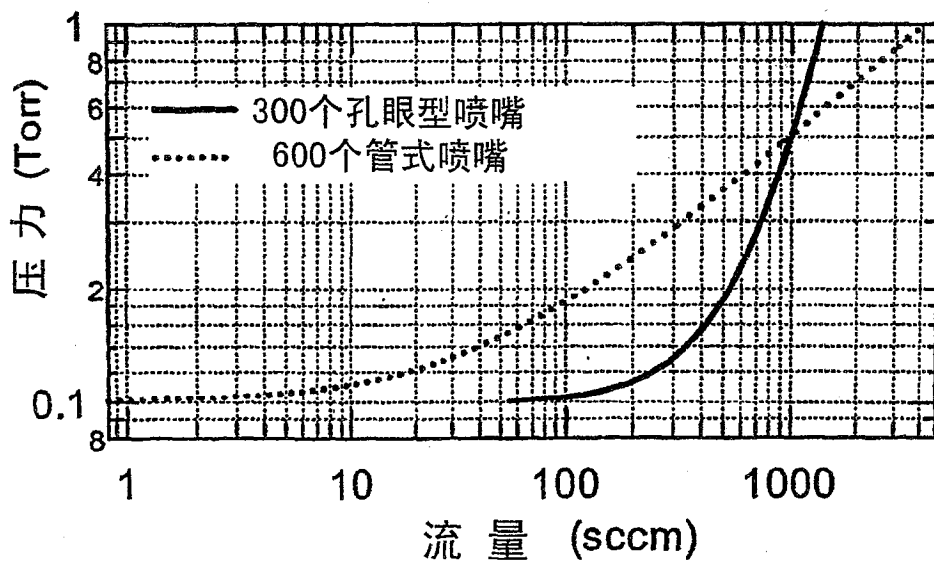


图 3

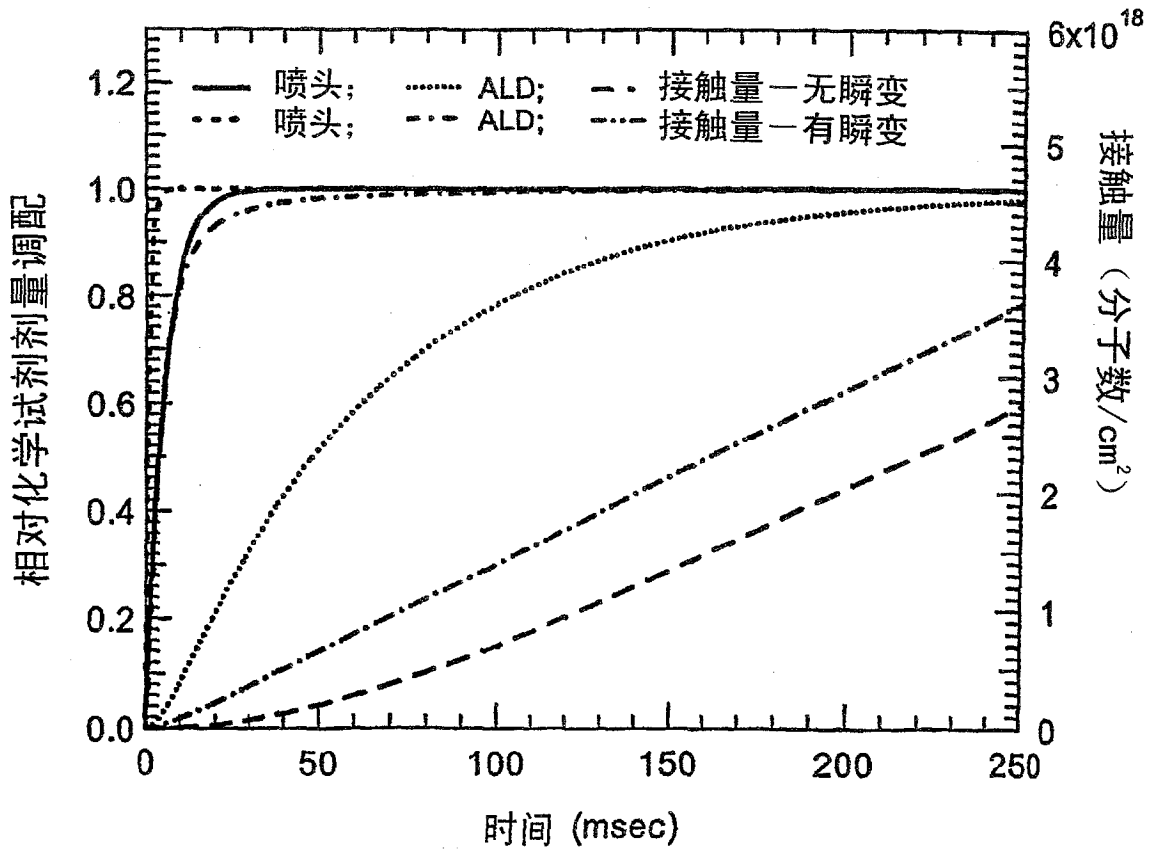


图 4

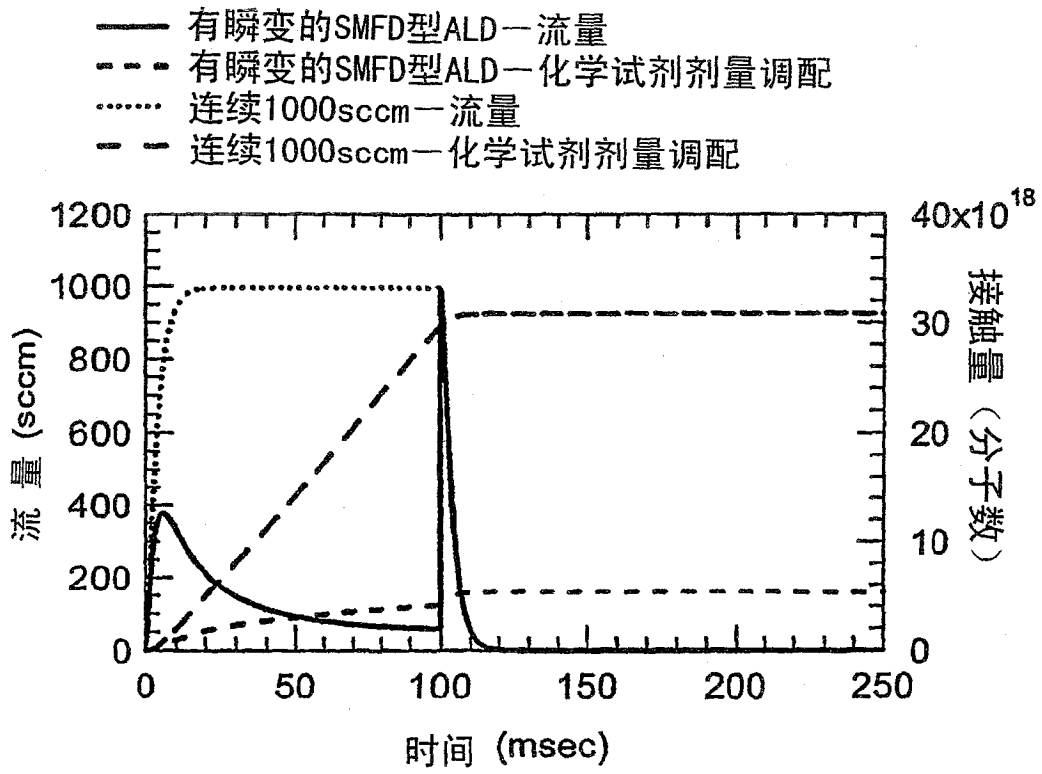


图 5

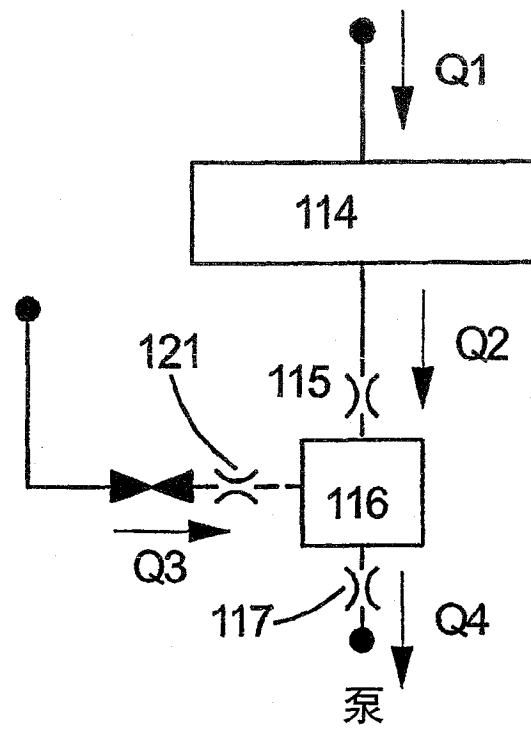


图 6

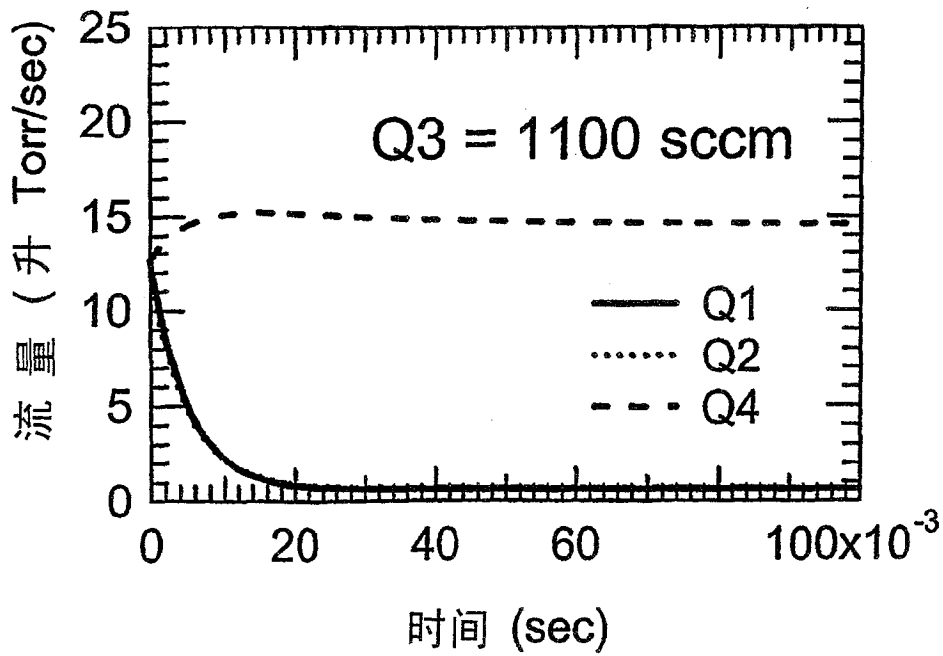


图 7

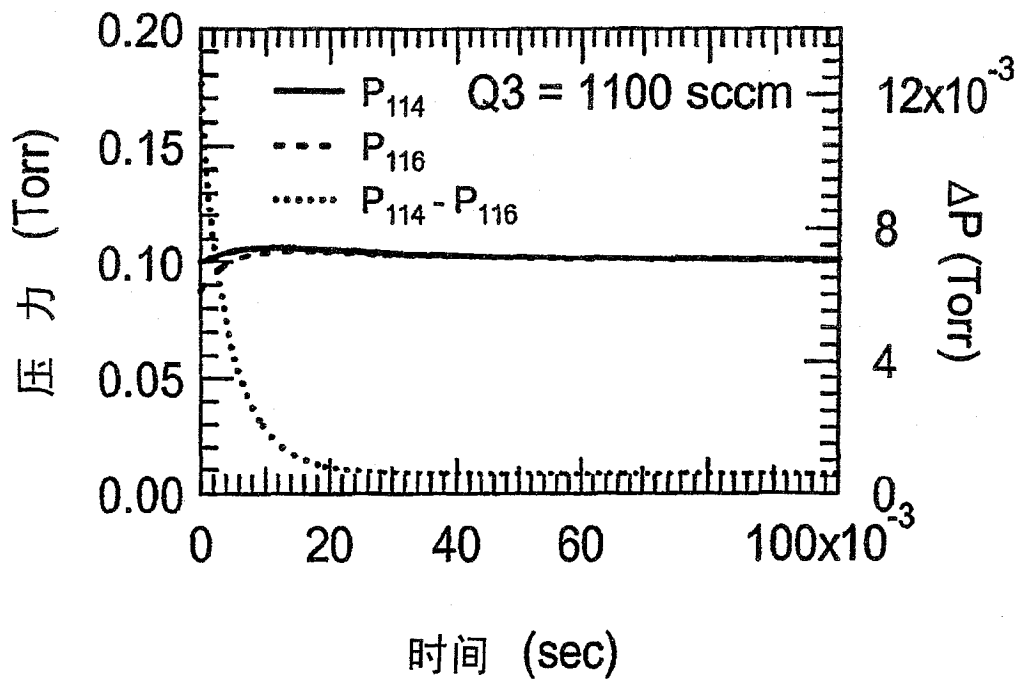


图 8

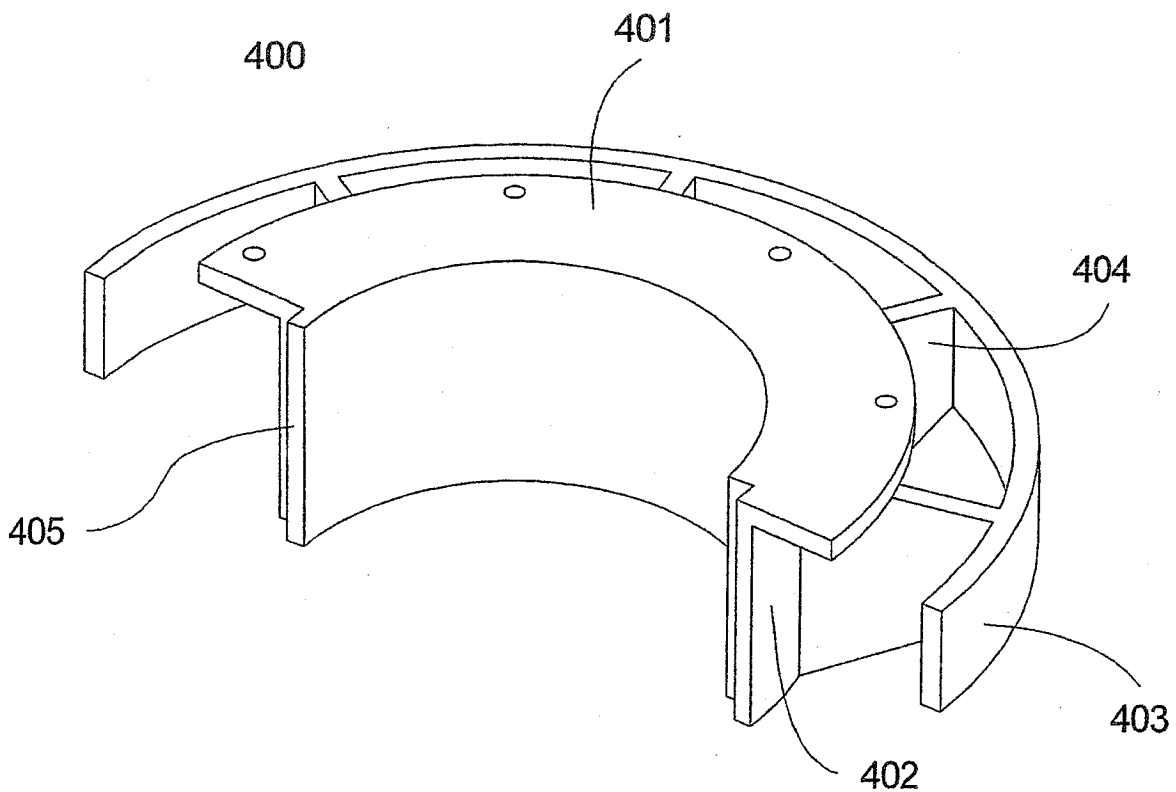


图 9

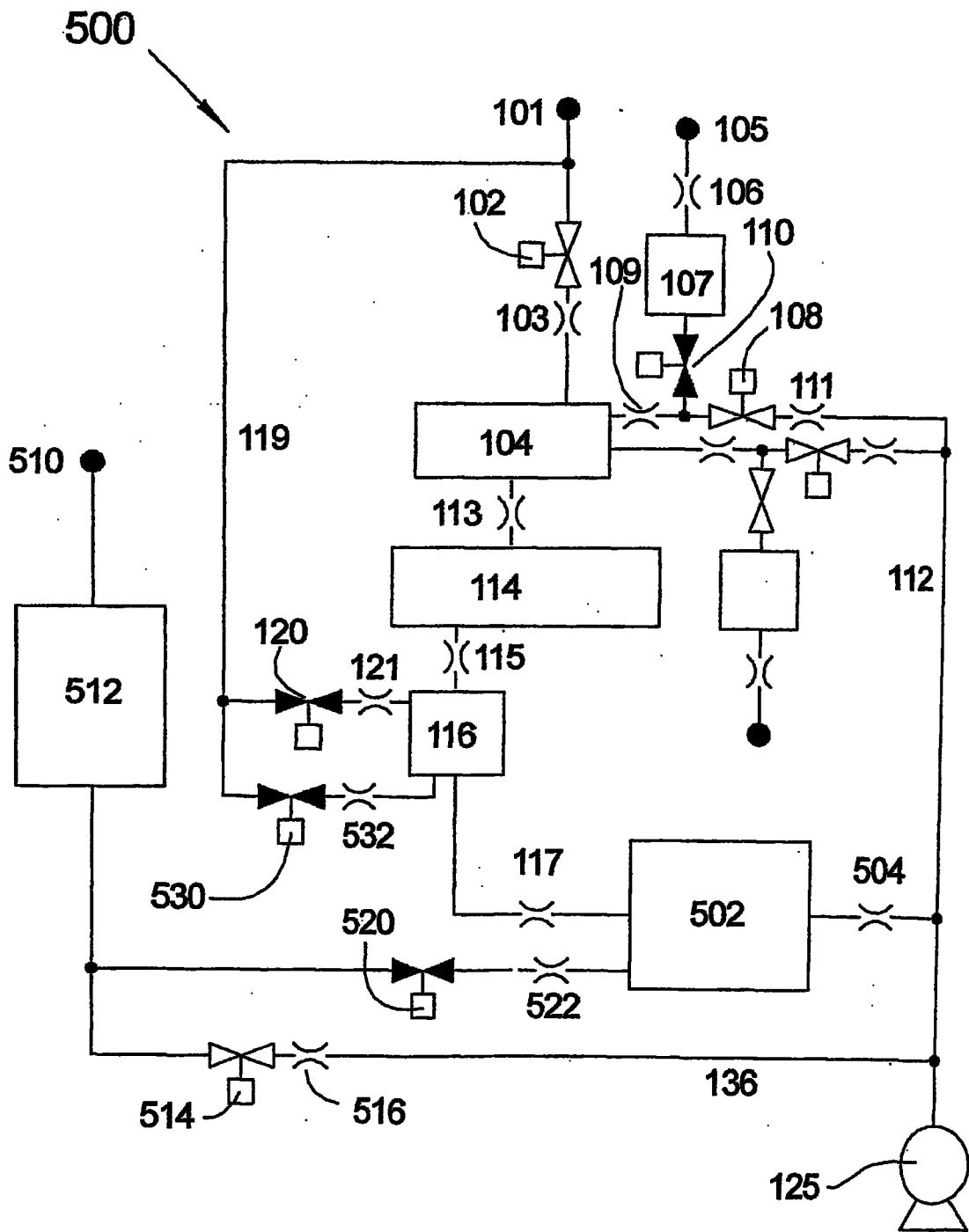


图 10

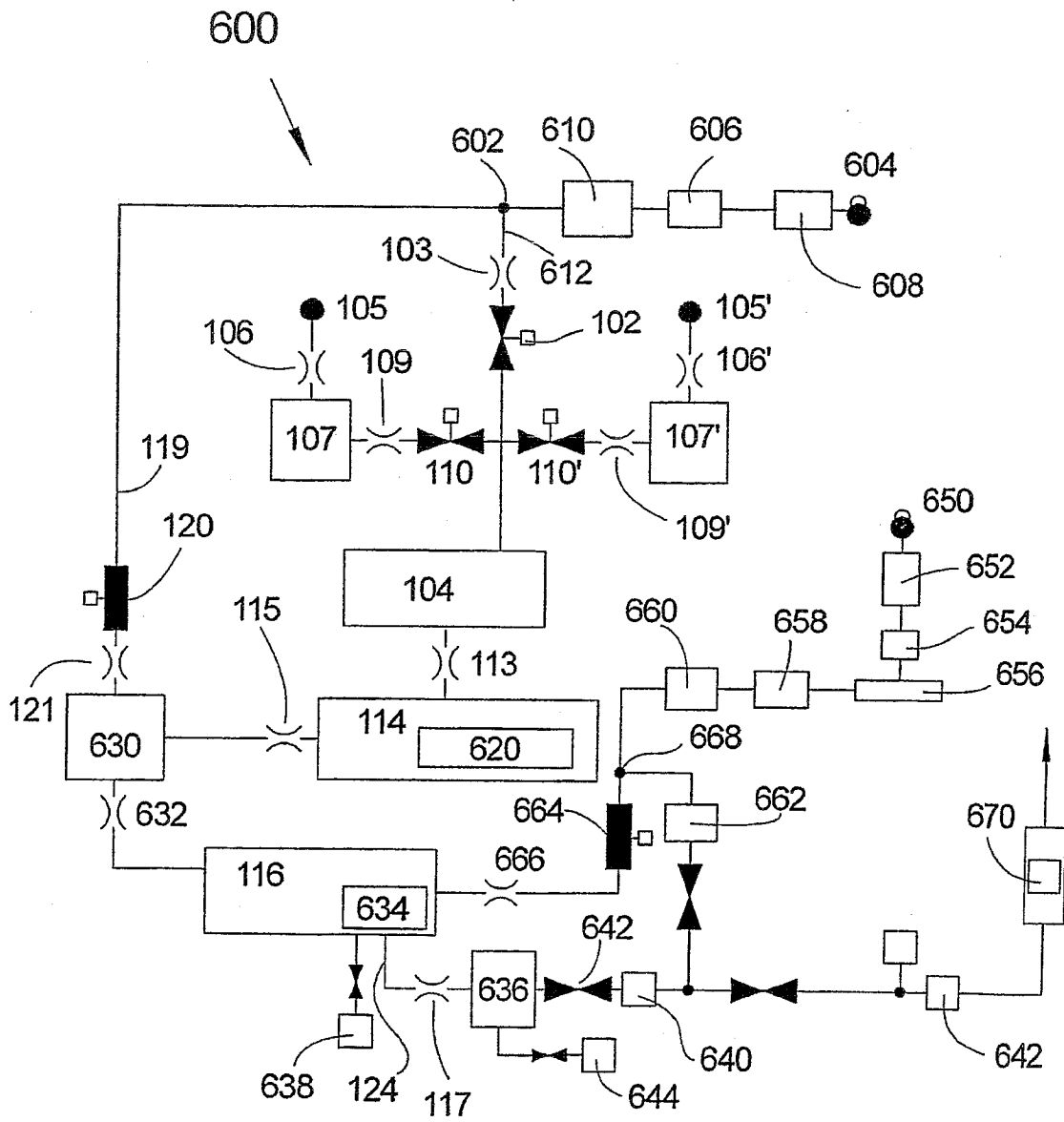


图 12

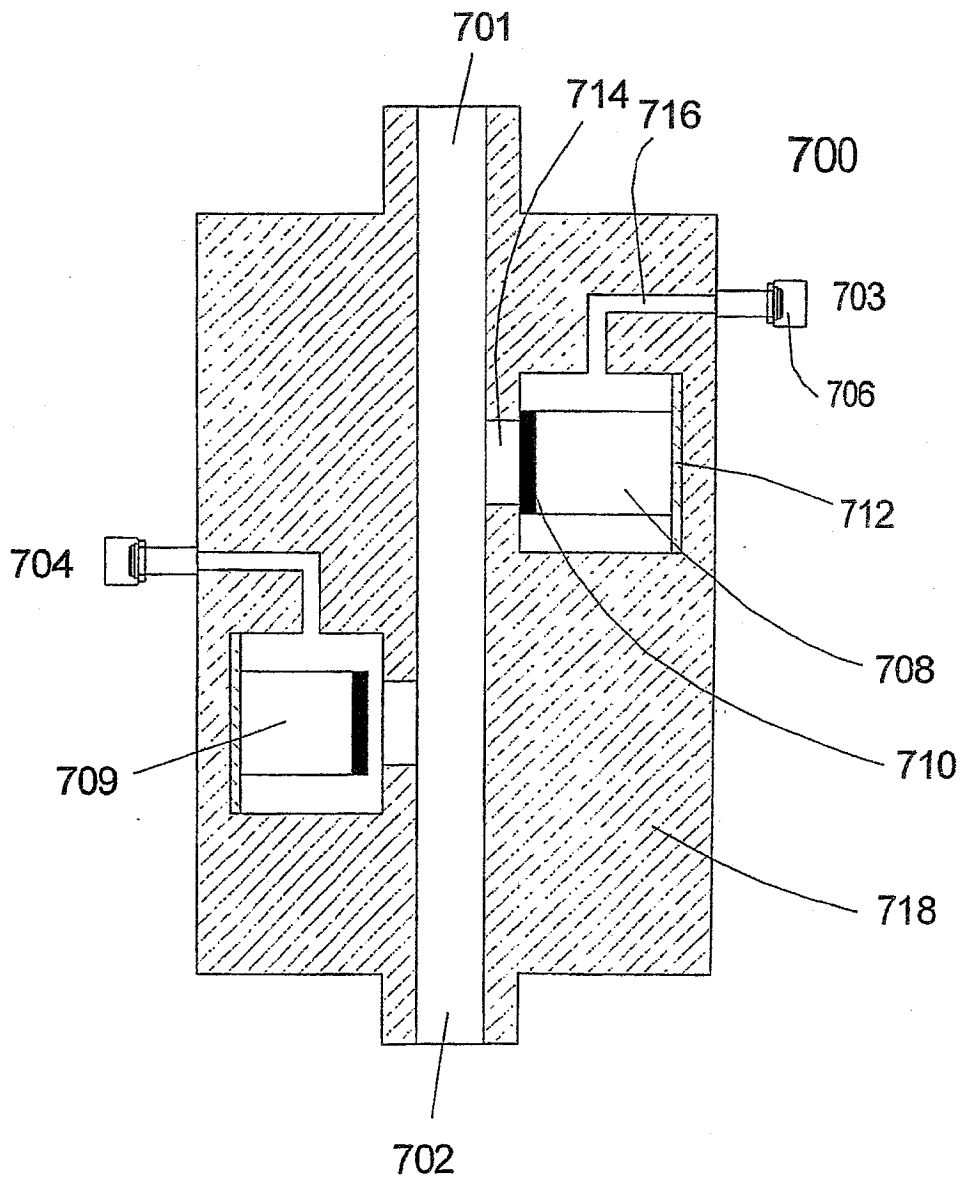


图 13

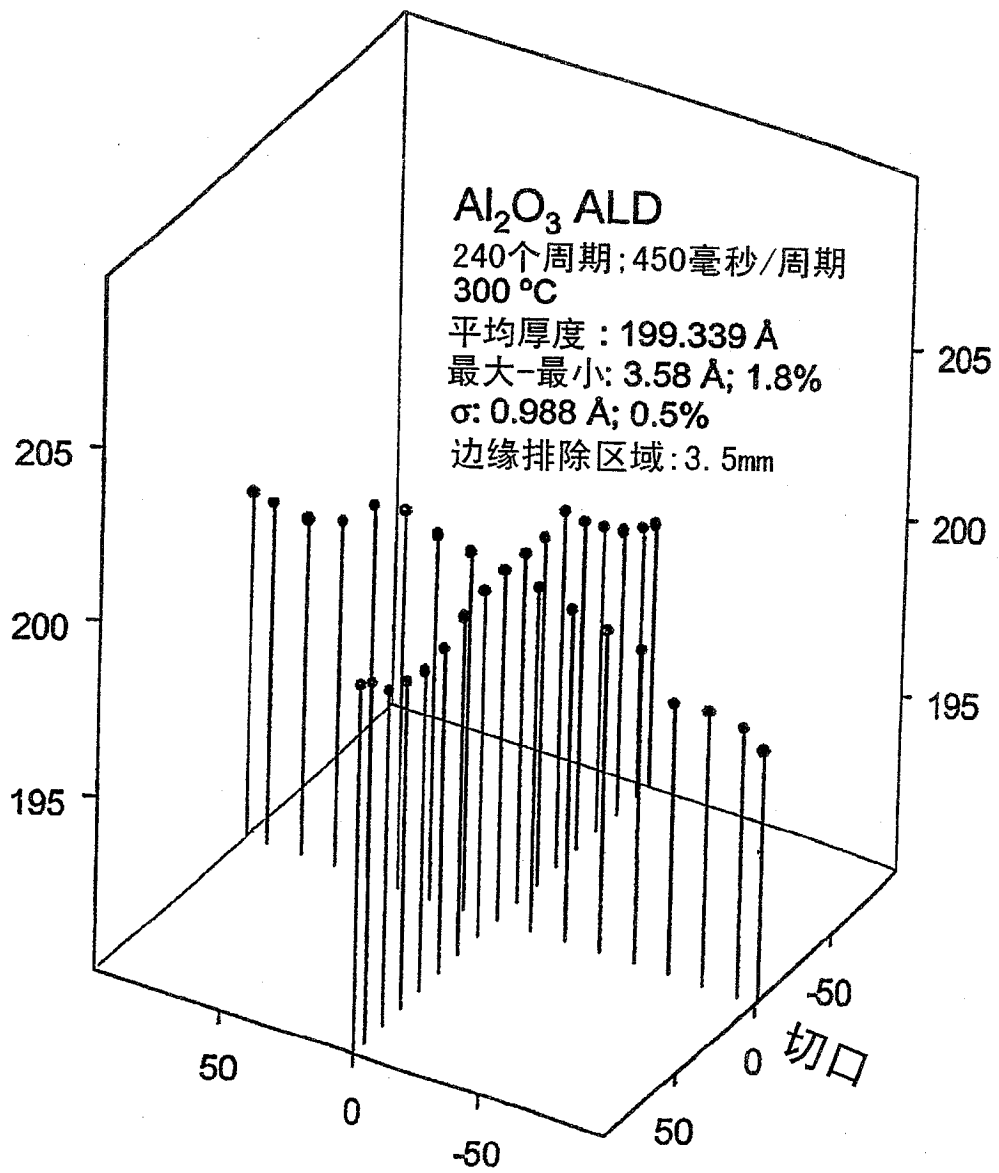


图 14

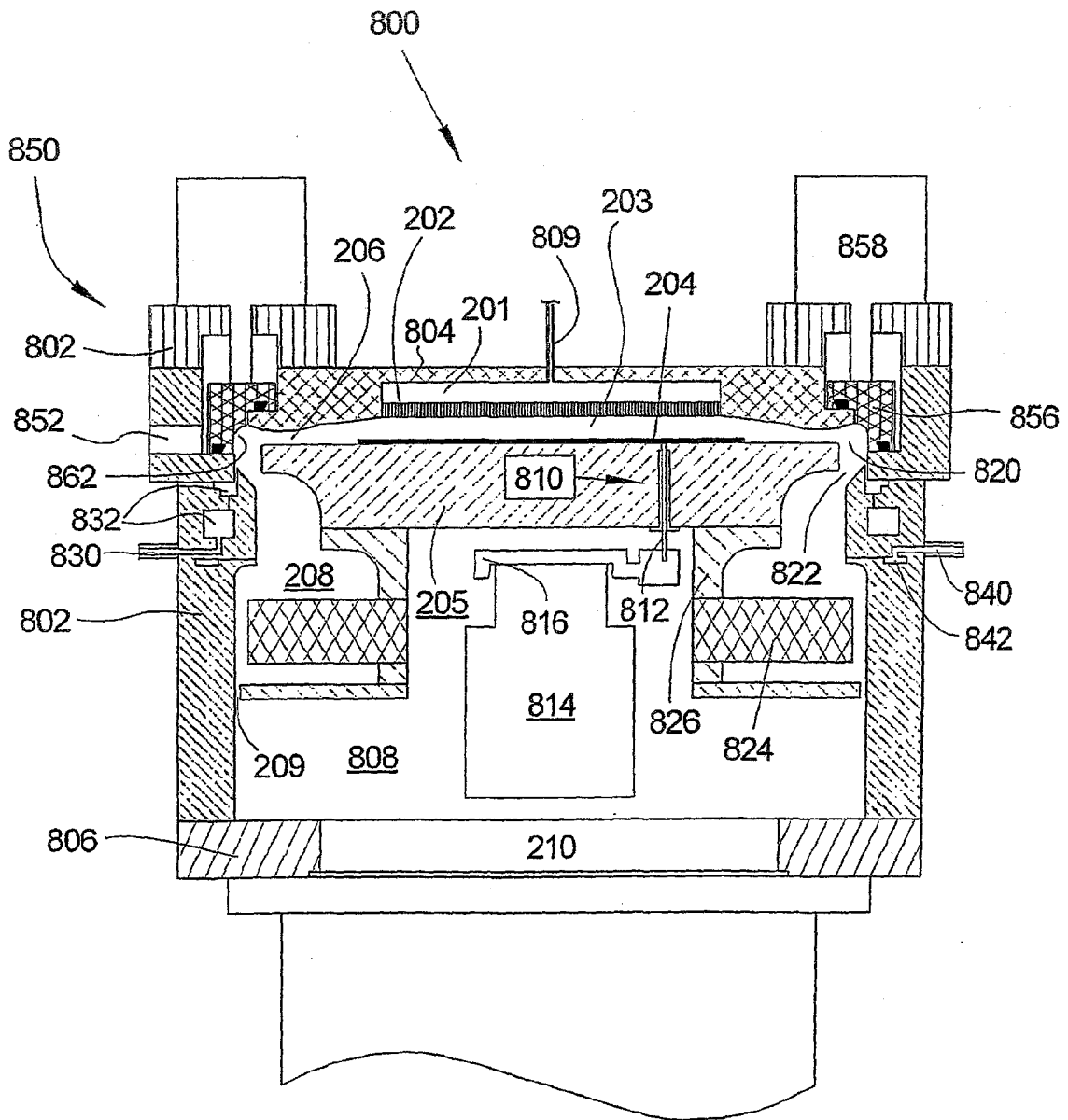


图 15

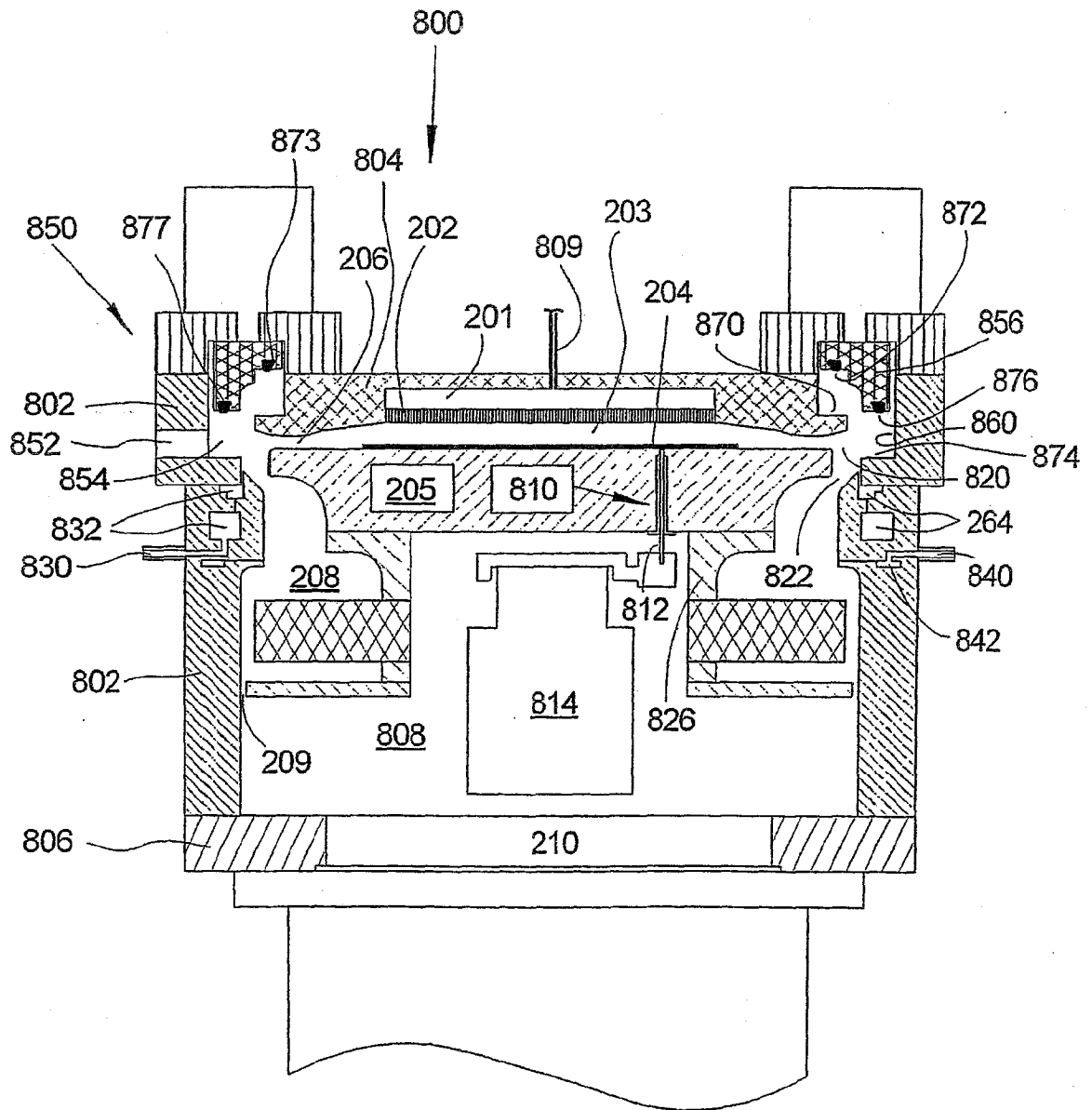


图 16

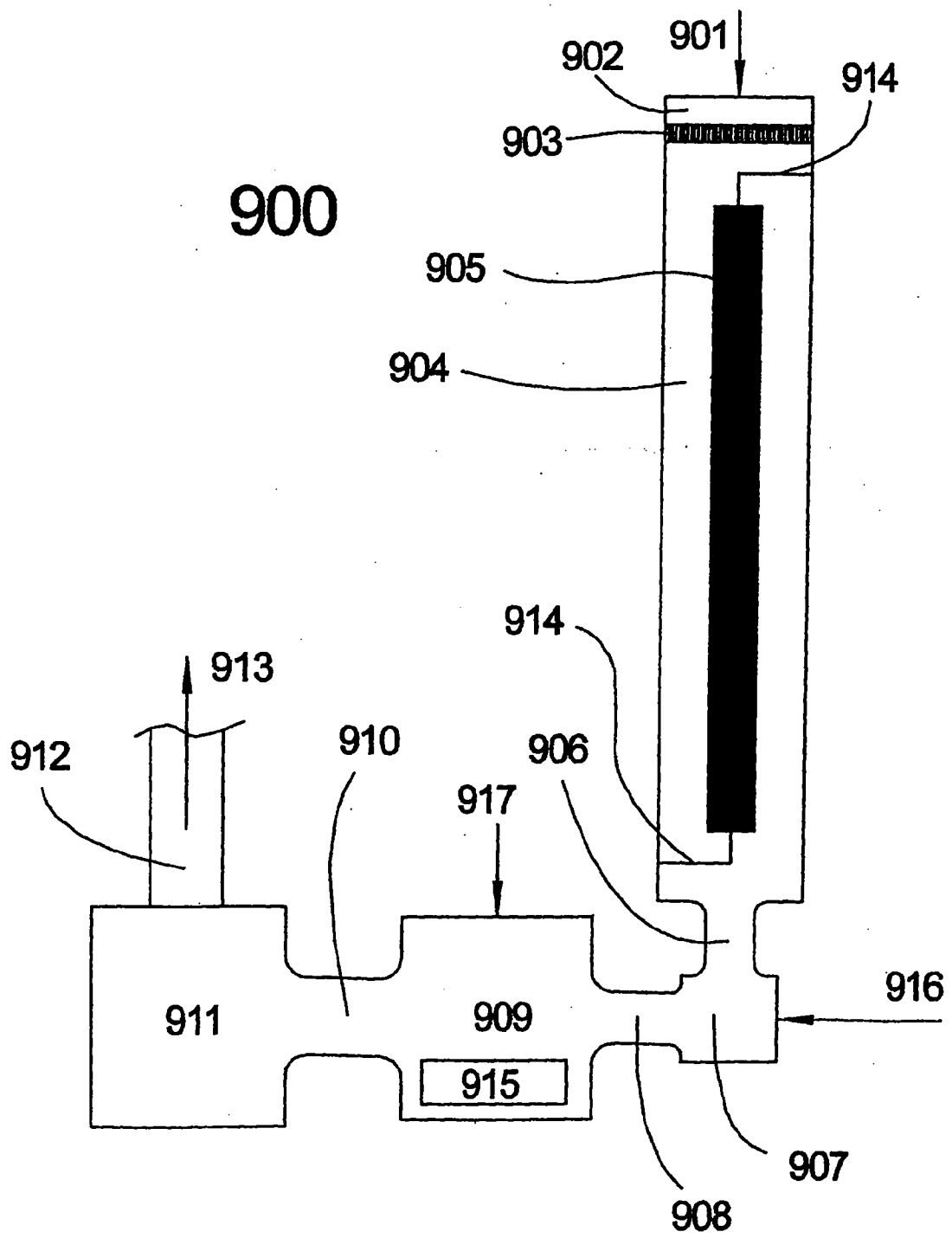


图 17