



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105102675 B

(45)授权公告日 2018.04.20

(21)申请号 201480011039.1

(22)申请日 2014.04.04

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105102675 A

(43)申请公布日 2015.11.25

(30)优先权数据

2013-080037 2013.04.07 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2015.08.27

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2014/060027 2014.04.04

(87)PCT国际申请的公布数据

W02014/168096 JA 2014.10.16

(73)专利权人 村川惠美

地址 日本千叶县佐仓市藤治台29-2

(72)发明人 村川惠美

(74)专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理有限公司 11205

代理人 陶敏 臧建明

(51)Int.Cl.

G23C 16/455(2006.01)

G23C 16/44(2006.01)

H01L 21/285(2006.01)

(56)对比文件

CN 101736320 A, 2010.06.16,

CN 101842873 A, 2010.09.22,

CN 101438391 A, 2009.05.20,

TW 201310532 A1, 2013.03.01,

CN 101445918 A, 2009.06.03,

CN 1904653 A, 2007.01.31,

US 2002152959 A1, 2002.10.24,

审查员 张会娟

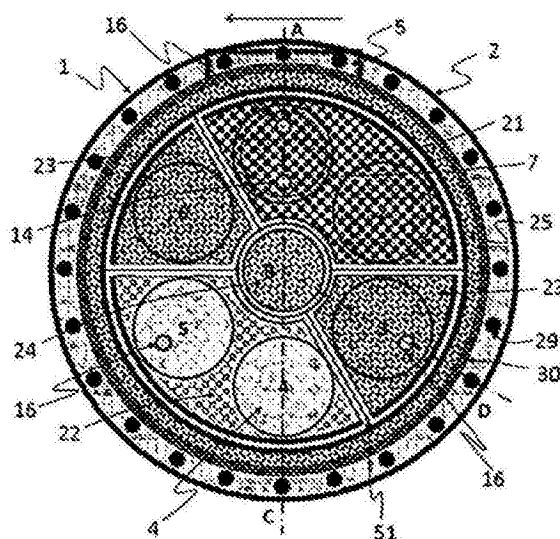
权利要求书2页 说明书32页 附图20页

(54)发明名称

旋转型半批次原子层沉积装置

(57)摘要

本发明涉及一种旋转型半批次原子层沉积装置,包含反应气体供给构件、簇射板、空穴以及包围所述空穴的间隔壁,其具备下述中至少其中一点的特征,即,反应气体构件是以在被处理基板之间的窄间隙沿横向高流速且均匀地流动的簇射板,或是包括对于所有反应气体以及冲洗气体供给构件,采用由真空排气槽予以包围的结构,或是包括使不同的反应气体供给排气构件隔开被处理基板的直径以上的配置构造,或是根据被处理基板的片数与气体供给构件的结构,来对基座的旋转数及各反应气体的供给的时间点进行控制,或是控制被处理基板的向反应气体的暴露时间,维持比由被处理基板的表面图案的最大纵横比求出的原子层沉积饱和反应时间还要长的时间。



1. 一种旋转型半批次原子层沉积装置,其特征包括:真空容器、旋转基座、搭载于基座上的多片被处理基板、基板加热器、设置于真空容器上部的多个扇形反应气体供给构件、设置于反应气体供给构件之间的冲洗气体供给构件、及针对每种反应气体而以各自独立的系统配设的真空排气构件,且藉由反复进行如下步骤来进行原子层沉积成膜,即,藉由使基座旋转而使基板依序暴露于反应气体中,并且,于所述旋转型半批次原子层沉积装置中,至少一个反应气体供给构件包含多孔簇射板、用于气体降流的空穴以及包围所述空穴的间隔壁,所述空穴位于所述簇射板的正下方,且冲洗气体供给构件包含簇射板,所述冲洗气体供给构件的簇射板与所述被处理基板之间的间隙,相较于所述反应气体供给构件的簇射板与所述被处理基板之间的间隙较为狭窄,且所述冲洗气体供给构件的簇射板正下方并无用于气体降流的空穴。

2. 根据权利要求1所述的旋转型半批次原子层沉积装置,其中
在不含金属的反应气体供给构件中所设的所述空穴中,设置有气体分子激发构件。

3. 根据权利要求2所述的旋转型半批次原子层沉积装置,其中
设置将使成膜物质挥发去除的清洁气体导入所述气体分子激发构件内的构件,对沉积于被处理基板、基座或真空容器内的成膜物质进行清洁或蚀刻。

4. 根据权利要求1所述的旋转型半批次原子层沉积装置,其中
使反应气体以及冲洗气体的所述簇射板的气体喷出孔配置间距小于10mm。

5. 根据权利要求1所述的旋转型半批次原子层沉积装置,其中
藉由将反应气体供给构件中所设的簇射板的边缘与间隔壁的连接部位设为带有曲率的形状,从而防止反应气体滞留于所述边缘。

6. 根据权利要求1所述的旋转型半批次原子层沉积装置,其中
将反应气体供给构件中所设的空穴的高度设为5cm以内。

7. 根据权利要求1所述的旋转型半批次原子层沉积装置,其中,对于所有的反应气体供给构件以及配置在所述反应气体供给构件之间的冲洗气体供给构件的所有的外周,各别以独立的真空排气槽来包围。

8. 根据权利要求7所述的旋转型半批次原子层沉积装置,其中
进而,在真空容器中心部呈圆形地配置冲洗气体供给部,对于所述冲洗气体供给部,亦采用由真空排气槽来包围气体供给部周围的结构。

9. 根据权利要求1所述的旋转型半批次原子层沉积装置,其中,不同的反应气体供给构件隔开被处理基板的直径以上,且两气体供给构件以不会来到同一基板上的方式而配置。

10. 根据权利要求1所述的旋转型半批次原子层沉积装置,其中,将气垫构件与可挠性保持构件予以组合,并设置于上部气体供给构件或旋转基座平台上,所述气垫构件用于精度良好地控制气体供给构件下端与被处理基板的间隙。

11. 根据权利要求1所述的旋转型半批次原子层沉积装置,其中,对开始及阻断各个反应气体的供给的时刻的、被处理基板与气体供给构件的相对位置关系进行控制,藉此,对所有被处理基板实施相同次数的原子层沉积制程。

12. 根据权利要求11所述的旋转型半批次原子层沉积装置,其中
根据基板与气体供给单元的所述相对位置关系,来对开始及阻断各个反应气体的供给的时刻的基座转速进行变动控制,以使所有被处理基板仅与反应气体供给构件接触相同的

暴露时间。

13. 根据权利要求11所述的旋转型半批次原子层沉积装置, 其中

在原子层沉积制程开始之前设置前处理制程, 对开始及阻断前处理气体的供给的时刻的、被处理基板与气体供给构件的相对位置关系进行控制, 藉此, 以相同的时间来对所有被处理基板实施前处理。

14. 根据权利要求1所述的旋转型半批次原子层沉积装置, 其中, 根据在被处理基板表面上形成的图案的最大纵横比, 来算出原子层沉积饱和反应时间, 并控制基板转速, 以使基板表面暴露比所述原子层沉积饱和反应时间长的时间。

15. 根据权利要求14所述的旋转型半批次原子层沉积装置, 其中

算出成膜过程中的任意时间的纵横比与对应于所述纵横比的原子层沉积饱和反应时间, 且实时控制基板转速, 以使被处理基板表面始终暴露比所述原子层沉积饱和反应时间长的时间。

16. 根据权利要求14所述的旋转型半批次原子层沉积装置, 其中

以被处理基板表面形状中的最大的纵横比的1次函数或2次函数来近似算出所述原子层沉积饱和反应时间, 且控制基板转速, 以使所述基板表面暴露比算出的所述原子层沉积饱和反应时间长的时间。

17. 根据权利要求15所述的旋转型半批次原子层沉积装置, 其中

以被处理基板表面形状中的最大的纵横比的1次函数或2次函数来近似算出所述原子层沉积饱和反应时间, 且控制基板转速, 以使所述基板表面暴露比算出的所述原子层沉积饱和反应时间长的时间。

18. 根据权利要求16所述的旋转型半批次原子层沉积装置, 其中

当以 α 来表示纵横比, 并将 t_{so} 以及 γ 设为常数时, 表示所述原子层沉积饱和反应时间的2次函数近似为 $t_{so}(1 + \gamma \alpha^2)$ 。

19. 根据权利要求16所述的旋转型半批次原子层沉积装置, 其中

在某制程压力 P_1 、某温度 T_1 时, 计测某1点的纵横比 α_1 下的饱和时间 t_{s1} , 藉由 $t_s = t_{s1} (\alpha / \alpha_1)^2 (P_1 / P) (T_1 / T)^{0.5}$ 来算出任意温度 T 、压力 P 、纵横比 α 下的饱和时间 t_s , 且调整基座的转速, 以能够维持所求出的饱和反应时间。

旋转型半批次原子层沉积装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种原子层沉积装置,所述原子层沉积装置在制造半导体、平板(flat panel)、太阳电池或发光二极管(Light Emitting Diode,LED)等电子组件(device)时,提供高生产性、省气体(gas)消耗量且高质量的成膜。

背景技术

[0002] 自从1970年代作为磊晶(epitaxial)技术而由多木孙多拉(Tuomo Suntola)等小组(group)发明以来,原子层沉积法(Atomic Layer Deposition,ALD)技术作为实现低温、低杂质浓度且高均匀包覆特性(阶梯覆盖(step coverage))的高质量成膜技术,而在半导体、平板、太阳电池或LED等电子组件的制造中得到利用。尤其,如非专利文献1~非专利文献4中介绍的,对于相对于开口直径而具备大的深度的高纵横比(aspect ratio)形状的动态随机存取内存(Dynamic Random Access Memory,DRAM)电容器(capacitor)形成制程中的 Al_2O_3 或 HfO_2 等高介电常数薄膜而言,要求高阶梯覆盖,因此ALD成为决定组件性能的关键(critical)技术之一。而且,最近,作为非常昂贵的极紫外线(Extreme Ultra-Violet,EUV)曝光装置的替代技术,已开发出使ArF浸渍曝光装置的分辨率极限能力提高的双重图案(double pattern)技术,ALD作为成为其关键的技术而受到瞩目。其中,必须在有机抗蚀剂(resist)膜不会发生劣化的 200°C 左右以下的低的温度下,使 $10\text{nm}\sim 20\text{nm}$ 厚度的硅(silicon)氧化膜成膜于经图案化(patterning)的抗蚀剂膜上,所述硅氧化膜不依存于图案形状而均匀性优异且阶梯覆盖良好,如非专利文献5中介绍般, SiO_2 膜的ALD技术正作为其解决方案(solution)而积极推进量产技术开发。进而,在制造搭载于行动终端机或输入板(tablet)个人计算机(Personal Computer,PC)中的低功耗半导体时,基于ALD技术的高介电常数/金属(High-k/Metal)栅极(gate)的形成成为必要技术。在半导体制造中,除了该些制程以外,还开发出多种ALD的适用制程,例如:使用TiN或Ru等金属来形成DRAM电容器上下电极(非专利文献6~非专利文献10);使用SiN来形成栅极电极侧壁(side wall);在触点(contact)以及通孔(through hole)中形成障壁种晶(barrier seed);形成反及(Not And, NAND)闪存(flash memory)的高-k绝缘膜以及电荷捕获(charge trap)膜等,预料该些适用制程今后将成为愈发主要的技术。于平板、LED或太阳电池中,亦开始研究在形成氧化铟锡(Indium Tin Oxide,ITO)膜或形成钝化(passivation)膜时使用高阶梯覆盖且可实现低温制程的ALD。

[0003] 作为ALD成膜装置,以往的主流是单片ALD装置以及批次(batch)炉装置。尤其在形成高-k/金属栅极时,必须在与高-k ALD相同的真空环境下连续进行硅基板的等离子体(plasma)氮氧化及金属(metal)成膜,因此,单片式ALD装置被广泛用作搭载于群集型系统(cluster system)中的一个腔室(chamber)。另一方面,在形成DRAM电容器的高-k绝缘膜时,最为普遍(popular)的是使用批次炉ALD装置。

[0004] 然而,对于单片、批次ALD装置而言,每个系统(system)的每小时基板处理片数(生产率(throughput))为20WPH(晶片每小时(Wafers Per Hour))左右以下,与其他成膜技术

相比,生产性均极低。这是切换 (switching) 型ALD的本质缺陷,所述切换型ALD是:以含金属的原料气体与臭氧 (ozone) 等非金属气体 (nonmetal gas) 不会在反应容器中交混的方式,藉由各个气阀 (gas valve) 的开闭来将各种气体交替地导入制程腔室内,藉此,将原子层沉积为若干层。例如,在TiN的单片ALD成膜时,一个ALD循环 (cycle) 包含真空排气、Ti前驱物 (precursor) 供给、真空排气、冲洗气体 (purge gas) 供给、真空排气、NH₃供给、真空排气、冲洗气体供给这8个步骤 (step),在每个各步骤中,阀门开闭、制程腔室压力稳定化以及各反应执行合计需要1秒左右的时间,完成一个ALD循环则需要耗费数秒左右以上的时间。单一ALD循环的TiN膜厚增加量如非专利文献1中所报告的,因前驱物彼此的立体阻碍而为1/4TiN层,约为0.1nm左右。因而,藉由单片ALD来形成10nm膜厚的TiN膜时,仅制程时间便需要数百秒,每个制程腔室的生产率仅为每小时4片左右。即便成膜装置系统包含4个制程腔室,生产率亦仅为16片左右。另一方面,在批次ALD中,可向制程腔室炉中填充100片左右的基板,但腔室炉的容量亦达到数十倍以上,因此气体供给、真空排气所需的时间亦达数十倍,单一ALD循环时间通常需要数分钟。若以较之更高的速度来进行气体供给/真空排气,则气体取代会变得不完全,从而会因混合气体彼此的反应而产生微粒 (particle)。因而,即便是使用炉的批次型ALD,沉积膜厚10nm的TiN膜亦需要数小时,生产率为每小时十数片左右,只不过与单片ALD同等而已。

[0005] 作为解决该些切换型ALD制程的低生产率的技术,近年来,研究、开发出堆栈 (stack) 型或旋转型的半批次 (semi batch) ALD装置。堆栈型ALD例如专利文献1或专利文献2所揭示的,是如下所述的方法,即:将单片ALD制程腔室沿纵向堆积数层,在同一时机 (timing) 来切换所有腔室。与单片ALD腔室相比,生产率提高至数倍,但装置制造成本 (cost) 亦变高,因而尚未正式使用。另一方面,旋转型半批次ALD装置包含:旋转平台 (table),将多片被处理基板搭载成圆弧状;以及多个反应气体及冲洗气体供给构件,在该旋转平台的上部空间配置成扇形状,所述旋转型半批次ALD装置藉由使该旋转平台旋转,从而使各片基板依序暴露于各个气体中,以推进ALD制程。由于不存在以往的切换型ALD中所需的、伴随气体供给与真空排气的气体切换,因此可实现高速成膜,而且,亦不需要切换气阀,因此装置制造成本亦可抑制为相对较廉价。当前,正积极推进该旋转型半批次ALD的量产化开发。

[0006] 最初的旋转型半批次ALD装置是由专利文献3于1990年提出申请。其中,将大的圆筒型真空容器分割为两个反应气体室与配置于这两个反应气体室之间的两个冲洗气体室、合计4个扇形子腔室 (sub chamber),在各子腔室中心部上方配置反应气体供给构件,气体排气部被设置于两个冲洗气体室的下部。藉由使碟 (disk) 状平台旋转,从而平台上的多片被处理基板通过各子腔室,以进行ALD成膜。该发明成为以后的旋转型半批次ALD装置的原型。然而,该方式中,各子腔室容积大,而且仅在各子腔室中心部配置有气体供给部,因此存在下述缺陷,即,反应气体以及冲洗气体的流动会局部地偏颇或者滞留。其结果,存在下述等问题,即:ALD反应视部位而不够充分,从而阶梯覆盖劣化,或者滞留气体与其他反应气体混合而产生微粒。

[0007] 自此以后,对于旋转型半批次ALD进行有各种改良,根据反应气体的分离方法,大致可分为4种类型。第1是间隔壁分离型ALD装置,与专利文献3同样地,藉由间隔壁来将真空容器分割为相对较大的子腔室,并精心设计气体的供给/排气方法,以使各个子腔室内的

反应气体或冲洗气体的流动变得均匀。专利文献4~专利文献7为所述间隔壁分离型ALD装置的具体例。于专利文献4中,在反应气体子腔室之间配置真空排气室,以使反应气体自反应气体子腔室朝向真空排气室均匀地流动。而且,于专利文献5中,在反应气体室之间设置冲洗气体室,使冲洗气体自中心朝周边方向流动,藉此来改善反应气体的分离特性。进而,于专利文献6中,藉由自包围反应气体子腔室的间隔壁喷出冲洗气体,从而提高气体分离性能。然而,该些间隔壁分离型ALD装置中,子腔室容积大,无法充分降低反应气体的偏流或滞留,因此难以完全解决专利文献1中的覆盖下降或微粒的问题。再者,于专利文献7中,将真空容器分割为4个子腔室,使连接于各子腔室的气体供给构件具备可呈脉波(pulse)状地供给反应气体或冲洗气体的切换功能,藉此,一个子腔室既可被用作反应室,而且亦可被用作冲洗室。藉由该构件,气体分离性能提高,而且,藉由变更反应气体的种类,可实现多原子成分的积层。然而,由于伴随气体切换而需要气体排气以及供给,因此产生ALD循环时间变得极长的缺点。

[0008] 第2旋转型半批次ALD装置的类型为气帘(gas curtain)型ALD装置,藉由使冲洗气体如帘幕般流经反应气体供给构件之间,从而减轻反应气体混合的现象。专利文献8~专利文献11为所述气帘型ALD装置的具体例。于专利文献8以及专利文献9中,使冲洗气体自上朝下方向流动,防止反应气体的混合。于专利文献10中,使冲洗气体自下朝上流动,以形成气帘。而且,于专利文献11中,将反应气体喷嘴(nozzle)与冲洗气体喷嘴交替地设置成放射状并使该些喷嘴旋转,藉此,对各基板交替地供给反应气体与冲洗气体。该些气帘方式与间隔壁分离型ALD装置相比,具备构造相对较简单的优点,但存在下述缺点,即,气体分离能力低,容易产生因反应气体的混合而造成的微粒。

[0009] 第3旋转型半批次ALD装置的类型为微反应器(microreactor)型ALD装置,将气体供给与排出这两种功能汇总至宽度为数厘米(centimeter)左右的紧凑(compact)的方形反应器中,防止反应气体漏出至反应器外部,藉此来提高气体分离功能。设置多个该反应器,对各个反应器供给不同的反应气体或冲洗气体,并利用其邻接部来进行排气,藉此达成良好的气体分离特性。该微反应器型ALD装置的具体例为专利文献12~专利文献15。专利文献12是于1979年发明并提出申请,为微反应器的原型。其中,具备如下结构:第一反应气体喷嘴、第1冲洗气体喷嘴、第2反应气体喷嘴、第2冲洗气体喷嘴各自经由排气口而配置成线形。专利文献13采用如下结构:将多个具备单一的气体供给/排气功能的方形微反应器呈放射状地设置于真空容器内。而且,藉由将反应气体设为蚀刻气体(etching gas),不仅可进行成膜,还可进行蚀刻、成膜前处理或成膜后的膜改性等。专利文献14是:第1反应气体喷嘴、第1冲洗气体喷嘴、第2反应气体喷嘴、第2冲洗气体喷嘴以及设置在各个喷嘴之间的排气口成为一个紧凑的扇形ALD反应器,且该ALD反应器呈放射状且连续地配置有多个。而且,于专利文献15中,将第1反应气体填充至大的真空容器内,并自呈放射状地设置的多个方形微反应器来供给/排出第2反应气体以及冲洗气体。该方式中,不需要第1反应气体的微反应器,结构变得简单。该些微反应器型ALD装置与其他类型的旋转ALD装置相比,可大幅提高气体分离性能。

[0010] 然而,于微反应器结构中,生产性与阶梯覆盖的取舍(trade off)比其他方式更为严苛。这是因微反应器的宽度比其他方式窄而引起。例如,在一个气体喷嘴的宽度为数厘米的情况下,即便是30RPM(转数每分钟)左右的低转速,于反应气体下的暴露时间亦仅为数十

毫秒左右以下,无法确保ALD反应所需的足够的暴露时间,因此会发生阶梯覆盖的下降。尤其对于不含金属的第2反应气体而言,为了进行ALD成膜而需要100毫秒左右以上的时间,因此该短暴露时间成为大问题。因此,欲降低转速以延长暴露时间,并将更多的微反应器予以排列,藉此来实现生产性的提高,但反而造成生产性下降。以下说明其理由。已知的是:于ALD制程中,被处理基板于反应气体中的暴露时间与单一ALD循环中的成膜速度的关系如图1所示,在该暴露时间短的情况下,成膜速度与暴露时间成正比,当暴露时间达到某时间以上时,成膜速度将饱和而成为固定的值。该饱和现象对应于被处理基板表面的所有吸附反应位点(site)被反应气体覆盖的状态,可将该成膜速度开始饱和的时间定义为ALD饱和反应时间,而且,将成膜速度饱和而成为固定的区域定义为ALD饱和反应区域。于旋转型半批次ALD装置中,若设旋转平台上的被处理基板片数为 n 、微反应器个数为 q 、旋转平台的转速为每分钟 r 转,则在使单一ALD制程中的成膜速度为每分钟 a (纳米/循环(nm/cycle))而使厚度 A nm的膜成膜时,生产率 W 可用 $60nqra/A$ (WPH) 来表示。在转速足够慢而ALD反应处于饱和反应区域内时(相当于图1中的A点),根据上述数式,生产率与被处理基板的片数 n 及微反应器个数 q 之积成正比。因此,增加旋转基座(susceptor)上的被处理基板与微反应器的个数可提高生产率。然而,在微反应器中通常使用的数十毫秒左右的暴露时间的条件下,反应是在ALD未饱和反应区域(图1中的C点)至获得ALD饱和反应的极限区域(图1中的B点)中运行(operation)。在如此之ALD未饱和反应区域中,若微反应器数 q 增加,则暴露时间将减少,ALD成膜速度 a 会减慢。因此,就生产率 W 而言,即便增加微反应器数 q ,生产率亦不会增加。另一方面,各个微反应器需要最低限度的气体分离,若增加微反应器个数 q ,则气体分离区域在反应气体供给单元(unit)中所占的面积会相对增加,相应地,与反应气体的接触时间将变短。因此,生产率与阶梯覆盖的取舍变得更为严苛。于旋转型半批次ALD装置中,自生产性与阶梯覆盖的取舍的观点考虑,少设置面积相对较大的气体供给单元比多排列微反应器更为有利。

[0011] 第4旋转型半批次ALD装置的类型为窄间隙(gap)气体分散型ALD装置,包含一对第1反应气体供给单元及第2反应气体供给单元与设置于所述反应气体供给单元之间的冲洗气体区域,藉由在气体供给喷嘴安装分散板,或者使用簇射板(shower plate),而进行精心设计,以使得反应气体以及冲洗气体在气体喷嘴与基板之间的窄间隙空间内均匀地流动。该方式中,与微反应器方式相比,可实现更高速旋转下的运行,可期待生产性的提高。专利文献16~专利文献21的一系列的发明以及专利文献22为该窄间隙气体分散型ALD装置的具体例。于专利文献16~专利文献21的一系列的发明中,邻接于反应气体以及冲洗气体而设置有气体分散板。进而,实施使气流变得均匀的各种精心设计,例如:将冲洗气体温度设为高温;或者相对于第1反应气体分散板的周方向长度而加长第2反应气体分散板的周方向长度;或者使气体喷嘴喷出孔朝前;或者将冲洗气体整流板设置于反应气体喷嘴附近;或者使排气孔的位置优化等。而且,于专利文献22中,取代反应气体以及冲洗气体的气体喷嘴而使用扇形簇射板,且在各个簇射板之间设置宽度窄的气体排气区域,自少量排气孔排出气体。然而,该些窄间隙气体分散型ALD构件中,生产率虽高,但存在如下缺点:气体使用量变得极多,达到数十SLM(标准升每分钟)左右,消耗品成本变得昂贵。而且,该些气体分散型构件存在如下缺点:反应气体利用效率只不过为0.5%左右以下,99.5%以上的反应气体在未使用的状态下直接被排出。

[0012] 进而,该高气体流量引起新的问题。即,当在被处理基板上沿单向大量产生气流时,会在基板的两端产生压力差,由此使得基板浮起。该问题尤其在形成压缩应力高的膜时,会导致被处理基板容易浮起。若基板浮起,则基板会碰到上部气体供给部,从而导致基板发生破损。如此,若气体在被处理基板上大流量地单向流动,则在制造装置的制程可靠性方面会引起重大的问题。

[0013] 而且,于一系列的专利文献16~专利文献21所示的窄间隙气体分散型ALD装置的发明中,为了提高生产性,使保持被处理基板的平台以每分钟300转左右进行高速旋转。然而,于此种高速旋转下,基板暴露于反应气体中的时间为100毫秒以内,如图1的C点所示般,成为未到达ALD饱和反应区域的状态。此时,对于高纵横比的沟槽(trench)或孔(hole)而言,阶梯覆盖下降的问题变得严重。

[0014] 现有技术文献

[0015] 专利文献

[0016] 专利文献1:美国专利公报5711811号

[0017] 专利文献2:美国专利公开公报2010-0098851号

[0018] 专利文献3:美国专利公报5225366号以及美国专利公报5281274号

[0019] 专利文献4:专利公报3144664号

[0020] 专利文献5:美国专利公报6972055号

[0021] 专利文献6:日本专利特开2007-247066号公报以及美国专利公开公报2007-0218702号

[0022] 专利文献7:美国专利公开公报2008-0075858号

[0023] 专利文献8:美国专利公报6576062号

[0024] 专利文献9:美国专利公开公报2003-0194493号

[0025] 专利文献10:美国专利公开公报2002-0043216号

[0026] 专利文献11:日本专利特开H04-287912号公报

[0027] 专利文献12:美国专利公报4413022号

[0028] 专利文献13:美国专利公报7153542号

[0029] 专利文献14:美国专利公报6821563号

[0030] 专利文献15:美国专利公开公报2010-0041213号

[0031] 专利文献16:日本专利特开2010-56470号公报

[0032] 专利文献17:日本专利特开2010-56471号公报

[0033] 专利文献18:日本专利特开2011-124384号公报

[0034] 专利文献19:日本专利特开2011-134996号公报

[0035] 专利文献20:日本专利特开2011-74593号公报

[0036] 专利文献21:日本专利特开2011-89561号公报

[0037] 专利文献22:韩国专利公开公报2007-0085761号

[0038] 专利文献23:日本专利特表2007-533153号公报以及美国专利公报7604439号

[0039] 专利文献24:日本专利特表2011-519796号公报以及美国专利公报6523572号

[0040] 非专利文献

[0041] 非专利文献1:W.奥特;固态薄膜,Vol.292, No.1-2, p135 (1997), “薄膜借助二元串

行化学反应在硅(100)上的成长”(W.Ott;Thin Solid Films,Vol.292,No.1-2,p135 (1997),“Al₃O₃ Thin Film Growth on Si(100)Using Binary Reaction Sequence Chemistry”)

[0042] 非专利文献2:Y.维迪贾贾;应用物理学快报Vo.80,p18(2002),“铝氧化物原子层沉积机制的量子化学研究”(Y.Widjaja;Appl.Phys.Lett.Vo.80,p18(2002),“Quantum Chemical Study of the Mechanism of Aluminum Oxide Atomic Layer Deposition”)

[0043] 非专利文献3:Y.K.金姆;IEDM科技文摘369(2000),“高密度独立及嵌式DRAMs的新型电容技术”(Y.K.Kim;IEDM Tech Digest 369(2000),“Novel Capacitor Technology for High Density Stand-Alone and Embedded DRAMs”)

[0044] 非专利文献4:R.马泰罗;固态薄膜,Vol.368,p1(2000),“水的剂量对氧化膜的原子层沉积速率的影响”(R.Matero;Thin Solid Films,Vol.368,p1(2000),“Effect of Water Dose on the Atomic Layer Deposition Rate of Oxide Films”)

[0045] 非专利文献5:S.乔治;应用表面科学,Vol.82,p460(1994),“SiO₂及Al₂O₃借助ABAB…二元串行化学反应的原子层受控沉积”(S.George;Applied Surface Science, Vol.82,p460(1994),“Atomic Layer Controlled Deposition of SiO₂and Al₂O₃ Using ABAB…Binary Reaction Sequence Chemistry”)

[0046] 非专利文献6:L.希尔图宁;固态薄膜,Vol.166,p149(1988),“钛、铌、钽及钼的氮化物借助ALE法在薄膜上的成长”(L.Hiltunen;Thin Solid Films,Vol.166,p149(1988),“Nitride of Ti,Nb,Ta and Mo Growth at Thin Films by ALE Method”)

[0047] 非专利文献7:R.黑吉;真空科技与技术B11,p1287(1993),“极大尺寸整合应用的低压化学气相沉积TiN障壁的薄膜特性”(R.Hedge;Vac.Sci.Technol.B11,p1287(1993),“Thin film properties of low-pressure chemical vapor deposition TiN barrier for ultra-large-scale integration applications”)

[0048] 非专利文献8:M.瑞塔拉;电化学协会Vol.145(8),p2914(1998),“源于Ti₄及NH₃的TiN薄膜的原子层磊晶成长”(M.Ritala;Electrochem.Soc.Vol.145(8),p2914(1998),“Atomic Layer Epitaxy Growth of TiN Thin Films from Ti₄and NH₃”)

[0049] 非专利文献9:Y.S.金姆;韩国物理协会志,Vol.37No.6,p1045(2000),“TiN薄膜在Si(100)及Si(111)上的原子层化学气相沉积”(Y.S.Kim;J.Korean Physical Society, Vol.37No.6,p1045(2000),“Atomic-Layer Chemical Vapor-Deposition of TiN Thin Films on Si(100)and Si(111)”)

[0050] 非专利文献10:H.金姆;真空科技与技术志B,Vol.21,p2231(2003),“金属及氮化物薄膜的原子层沉积:当前的研究成果及半导体组件制程的应用”(H.Kim; J.Vac.Sci.Tech.B,Vol.21,p2231(2003),“Atomic Layer Deposition of Metal and Nitride Thin Films:Current Research Efforts and Applications for Semiconductor Device Processing”)

[0051] 非专利文献11:R.G.戈登;化学气相沉积,Vol.9,pp73(2003),“基于原子层沉积的阶梯覆盖的动力学模型”(R.G.Gordon;Chem.Vapor Deposition,Vol.9,pp73(2003),“Kinetic Model for Step Coverage by Atomic Layer Deposition”)

发明内容

[0052] [发明所欲解决的问题]

[0053] 本发明提供一种使旋转型半批次ALD装置成为可能的技术,其可解决以上所述的旋转型半批次ALD装置的各问题,保持高生产率、低微粒、低气体消耗量且高覆盖。

[0054] [解决问题的手段]

[0055] 本发明包含基于旋转型半批次ALD装置中的以下6项新发现的发明,所述旋转型半批次ALD装置包含:真空容器、旋转基座、搭载于该基座上的多片被处理基板、设置于该被处理基板正下方的基板加热器(heater)、设置于真空容器上部的多个扇形的反应气体供给构件、设置于该反应气体供给构件之间的用于分离反应气体的冲洗气体供给构件、及针对每种各气体供给构件而以各自独立的系统配设的真空排气构件,且藉由反复进行如下步骤来进行ALD成膜,即,藉由使该基座旋转而使被处理基板依序暴露于反应气体中。各个单独的发明可获得显著的效果,但若将两个以上予以组合,效果便可进一步提高。

[0056] (1) 一种旋转型半批次ALD装置,其中,反应气体供给构件的至少一个包含用于使气体均匀地喷出的簇射板、用于气体降流(down flow)的空穴(cavity)以及包围空穴的间隔壁,且冲洗气体供给构件包含簇射板,该簇射板将所述空间设为窄间隙,以使气体沿横向以高流速且均匀地流经与被处理基板之间的空间,藉此使气体供给构件优化,以提高生产性与阶梯覆盖特性。

[0057] (2) 一种旋转型半批次ALD装置,其中,对于所有反应气体以及冲洗气体供给构件,采用由真空排气槽予以包围的结构,以使反应气体以及冲洗气体可各自独立地局部排气,藉此,提高气体分离特性。

[0058] (3) 一种旋转型半批次ALD装置,其中,使各个反应气体供给排气构件隔开被处理基板的直径以上,且两气体供给构件以不会来到同一被处理基板上的方式而配置,藉此,提高低微粒产生特性与气体分离特性。

[0059] (4) 一种旋转型半批次ALD装置,其中,将冲洗气体供给构件的空气轴承(air bearing)机构与弹簧(spring)等其他保持构件予以组合,并设置于上部气体供给构件或旋转基座上,以精度良好地控制上部气体供给构件下端与被处理基板之间的间隙,藉此,降低气体使用量。

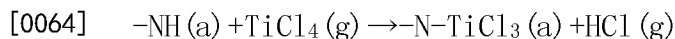
[0060] (5) 一种旋转型半批次ALD装置以及其ALD序列(sequence),其中,根据被处理基板的片数或气体供给构件的结构,来对ALD开始与完成时的被处理基板与气体供给部的相对位置关系、和/或被处理基板基座转速进行调整,藉此,在相同时间便能对所有被处理基板实施相同数量的ALD循环。

[0061] (6) 一种旋转型半批次ALD装置,其中,基于在被处理基板表面上形成的图案的最大纵横比(孔或沟槽的深度相对于宽度之比)来算出ALD饱和反应时间,并控制基板转速,以使被处理基板表面在反应气体中暴露比该饱和反应算出时间长的时间,藉此,兼顾高阶梯覆盖与高生产性。

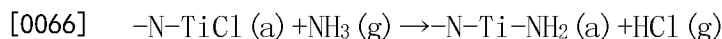
[0062] 以下,对本发明的问题解决方案进行详细说明。

[0063] 首先,对第一发明的方案进行说明。ALD反应是藉由使被处理基板交替地暴露于含金属的反应气体与非金属反应气体中而推进,例如借助 TiCl_4 与 NH_3 的TiN的ALD反应可藉由

如下的2步骤反应来表达。此处,含金属的反应气体通常为有机金属化合物或金属卤素化合物,且选择处理温度下的蒸汽压为制程压力以上的物质。作为金属,通常在制造半导体时使用Si、Ti、Hf、Zr、Ru、Ta、Sr等,但在本发明中并无特别限定,只要根据构成目标膜的原子来选择即可。作为非金属反应气体,对应于成膜材料而使用臭氧、O₂、NH₃、N₂、H₂等。该些非金属反应气体于本发明中亦无限定,只要根据构成目标膜的原子来选择即可。



[0065] (反应式1)



[0067] (反应式2)

[0068] 此处,括号内的a以及g表示物质的状态,a对应于表面吸附状态,g对应于气相状态。于ALD制程中,首先,含金属的反应气体即TiCl₄根据反应式1,主要在凡得瓦力(Van der Waals force)的作用下,藉由弱的结合力而物理吸附于下层所吸附的非金属气体即-NH之后,藉由刘易斯酸(Lewis acid)碱基反应而与氮原子化学键合。此时,含金属的反应气体分子的分子直径大,因立体阻碍,而无法吸附于所有氮原子。于通常的ALD成膜中,含金属的气体分子是以4个氮原子内的1个氮原子左右的比例而吸附。继而,于由反应式2所示的第2步骤中,非金属反应气体即氨气(ammonia gas)分子NH₃与所吸附的-N-Ti-Cl发生化学反应,并与Ti原子键合。反应式1以及反应式2中的无论哪个反应皆是伴随基板表面上的键的重组的化学吸附反应,作为反应生成物而生成HCl,但在几乎所有的ALD反应中,该第2步骤的反应需要比第1步骤的反应更大的活化能量(energy)。因此,在几乎所有ALD反应中,由反应式2所示的第2步骤会限制整个ALD反应的速度。该反应式2的反应速度R₂可由下述数式来表示。

[0069] $R_2 = k_2(1-\theta)P_{NH_3} - k_{-2}\theta P_{HCl}$ (数式1)

[0070] 此处,θ表示未化学吸附NH₃气体的-N-Ti-Cl(a)表面的反应吸附位点的比例。而且,k₂与k₋₂表示第2步骤反应的推进反应(吸附反应)与逆推进反应(脱离反应)的反应速度常数,P_{NH₃}以及P_{HCl}表示NH₃气体与HCl气体的分压。根据该数式可知的是,要提高反应速度,有效的做法是提高NH₃气体分压,且增加气体流量,藉此使HCl迅速排气,以降低HCl气体分压。另一方面,多数报告称:实际的几乎所有ALD反应可藉由朗谬(Langmuir)的等温吸附式来相对较良好地近似。该情况意味着:反应式2成为平衡状态或者与该平衡状态相近的状态,推进反应速度与逆反应速度为大致相等。而且,此时,吸附位点的比例θ可作为HCl气体与NH₃气体的分压的函数而以下述数式来表示。

[0071] $\theta = k_2 P_{NH_3} / (k_2 P_{NH_3} + k_{-2} P_{HCl})$ (数式2)

[0072] 在P_{NH₃}小的情况下,θ与P_{NH₃}成正比,当P_{NH₃}变大时,为θ≈1,从而呈现出吸附位点的比例饱和的所谓朗谬吸附饱和和曲线行为。

[0073] 此处最为关键的是:要达成高阶梯覆盖,必须维持所有吸附位点饱和的状态、即维持θ=1的理想的ALD反应。这表示:于反应式2中,平衡大幅偏向推进反应方向,而于数式1中,右边第2项的k₋₂θP_{HCl}小至可忽略的程度。亦即表示:在作为目标的实际制造制程中的ALD反应中,尽管存在相当量的第2步骤反应的反应生成物即HCl气体,但逆推进反应仍可忽略,反应速度R₂可如下述数式般简化。

[0074] $R_2 = k_2(1-\theta)P_{NH_3}$ (数式3)

[0075] 因而,实用的ALD反应的反应速度仅与未吸附位点的比例 $(1-\theta)$ 及反应气体分压 P_{NH_3} 成正比,因此无须加大反应气体流速,只要暴露于高浓度的反应气体中,便可推进ALD反应。其结果,可知的是:不仅可适用于TiN的ALD成膜,而且可适用于几乎所有ALD制程。而且,可知的是:在伴随由反应式1所示的含金属的反应气体的反应中,亦具备同样的反应机制。根据以上的讨论,可得出下述结论:要提高ALD反应的反应速度,关键在于使作为原料的反应气体以高浓度且均匀地分散至被处理基板,而无须增加气体流量。

[0076] 第二,作为重要发现,已知的是:在ALD制程中通常所用的0.1Torr(托)~数Torr的压力下,反应气体的平均自由行程为数十微米(micron)~2毫米(millimeter)左右,例如,对于包含具备10mm以上间距的少数个气体喷出孔的反应气体喷嘴而言,难以在扇形气体供给构件的角角落落将反应气体以均匀的高浓度供给至基板。而且,亦已判明:在远离气体喷嘴的气体供给部的角落部位,反应气体会长时间滞留,并与其他反应气体引起气相反应而成为微粒产生的原因。基于以上的ALD反应与气流两个发现,于本发明中,作为反应气体供给构件,包含:簇射板,包含以窄间距均匀地的气体喷出孔;空穴,用于藉由平缓的降流来将喷出的反应气体均匀地供给至被处理基板;以及大致垂直的间隔壁,包围所述空穴。

[0077] 另一方面,对于冲洗气体的供给,必须在通常的暴露时间即100ms左右以下的短时间内,将未反应气体或反应生成气体完全排出,所述未反应气体或反应生成气体残留在刻设于被处理基板表面上的尺寸为10nm左右的超微细的孔或沟槽图案内。此时,已知的是:缓慢的降流并不适当,较为理想的是,在基板上的所有位置处,尽可能将流经被处理基板上的冲洗气体的气体流速增大。例如,当使用压力为1Torr的氮气来作为冲洗气体时,其气体密度为 $1.5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$,朝向被处理基板的氮气扩散流通量为 $3 \times 10^{20} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。若设被处理基板的转速为每分钟30转、气体供给构件中的一个冲洗气体供给部的面积比率为1/8,则一个冲洗气体供给部中的被处理基板的冲洗气体暴露时间为250ms。在此期间,每1秒钟藉由扩散而流入直径为32nm且纵横比为100的孔内的氮气分子数为 $5 \times 10^8 \text{s}^{-1}$ 。另一方面,孔内部的残留反应气体分子数可推算为40个左右。因而,在被处理基板与冲洗气体接触的期间,将有残留气体分子的 10^7 倍左右的氮气流入孔内部,在通常的旋转型半批次ALD装置中,冲洗气体暴露时间基本上不会成为制约转速的瓶颈(neck),于反应气体中的暴露时间则会限制速度。然而,若在冲洗气体空间内残留有反应气体,则残留反应气体分子会再次进入孔内,从而取代效果下降。在制造千兆位(gigabit)DRAM组件时,于直径300mm的被处理基板上存在 1×10^{11} 个以上的孔,因此取代效果的下降成为孔内微粒的原因,从而引起位不良。因而,要完全实现孔内的残留气体取代效果,关键在于使残留于冲洗空间内的反应气体尽快排出,实际上已发现:增加被处理基板表面上的冲洗气体流速,可有效降低残留气体。因此,本发明中,藉由尽可能减小与被处理基板之间的空间间隙,可增大横向的冲洗气体流速,提高借助冲洗气体的反应气体取代效果。

[0078] 而且,对于扇形气体供给部中的冲洗气体的喷出方法,已知的是:与反应气体的喷出方法同样,对于具备少数个气体喷出孔的气体喷嘴而言,会产生气流的偏颇或滞留,气体取代会变得不完全。进而发现:要使冲洗气体在冲洗气体供给部中均匀地分散,较为理想的是,将气体喷出孔的设置间隔设置成冲洗气体的平均自由行程的数倍以内左右的距离。ALD制程的压力基本上为0.1Torr左右以上,该压力下的氮分子的平均自由行程程度为2mm左右以内,因此在本发明中,对于冲洗气体喷出构件,采用间距为10mm以下且均匀地配置的簇射

板结构。已知的是：藉由该窄间隙且窄间距的簇射板结构，可在基板表面上的所有位置加快冲洗气体流速，降低基板表面上的未反应气体以及反应生成气体的浓度，以提高取代/排出效率。

[0079] 如以上所说明的，第1本发明是在旋转型半批次ALD装置中，至少一个反应气体供给构件包含用于使气体均匀地排出的簇射板、用于气体降流的空穴、以及包围该空穴的间隔壁，且冲洗气体供给构件包含窄间隙簇射板，该窄间隙且窄间距的簇射板用于使冲洗气体沿横向以高流速均匀地流经与被处理基板之间的空间。

[0080] 接下来，对第2本发明的方案进行说明。第2发明中，在旋转型半批次ALD装置中，使扇形的反应气体供给构件以及冲洗气体供给构件的周围全部由各自独立系统的真空排气的槽所包围。以往，在除了微反应器型以外的几乎所有旋转型半批次ALD装置中，各个反应气体通过旋转基座与真空容器壁之间的间隙，并自真空容器的底部排出。该方式中，反应气体在真空容器下部以及排气管线(line)中混合而产生微粒。而且，反应气体与冲洗气体产生混合，气体分离效果亦低。另一方面，于微反应器型ALD装置中，在反应气体喷嘴与冲洗气体喷嘴之间设置有真空排气槽，而获得更高的气体分离效果与低微粒性能。然而，于以往的微反应器型半批次ALD装置中，仅在反应气体供给部与邻接的冲洗气体供给部之间才设置有真空排气槽，而在反应气体供给部的中心侧或外周侧不具备各自独立的真空排气槽，因此当高速旋转时，反应气体的一部分会流向外周方向，从而自微反应器中泄漏。因此，不仅将真空排气槽设置于扇形反应气体供给部与冲洗气体供给部之间，而且将真空排气槽设置于反应气体供给部的中心侧、反应气体供给部外周侧，而且不仅将真空排气槽设置于反应气体供给构件中，而且亦将真空排气槽设置于冲洗气体供给构件中，从而调查微粒产生与气体分离效果。其结果判明：中心侧以及外周侧的真空排气槽与反应气体供给部及冲洗气体供给部之间的真空排气槽同样，对于气体分离发挥重要作用。而且亦可知的是：若亦在冲洗气体供给部外周设置真空排气槽，则单向气流的产生得到抑制，藉此可降低气体彼此的扰乱，气体分离效果得到进一步提高。进而亦判明：在中心部，反应气体供给部彼此的距离变近，因此在中心部由真空排气槽所包围的冲洗气体供给部是必要的。根据以上的结果，于本发明中，在沿着周方向排列设置的扇形的反应气体供给部及设置于该些反应气体供给部之间的冲洗气体供给部、以及设置于中心的冲洗气体供给部的所有的外周，设置真空排气槽，以获得最优异的反应气体分离特性。而且亦可知的是：藉由使冲洗气体供给构件全部被排气槽包围，从而可使冲洗气体的流动朝四方向进行，而更有效率地进行气体取代，而且，亦可防止因仅单向的流动造成基板悬浮。

[0081] 接下来，对第3本发明的方案进行说明。限制ALD制程的生产性的速度的因素是反应气体、尤其是非金属反应气体与基板的接触时间，而冲洗气体与被处理基板的接触时间通常不会成为限制ALD反应速度的因素。因而，较为理想的是，于上部气体供给构件中，尽可能减小冲洗气体供给部的占据面积，相应地，尽可能增大反应气体供给部的占据面积。然而，若使冲洗气体供给单元的占据面积过小，则金属反应气体与非金属反应气体的气体分离效果会下降，两反应气体会发生混合而产生微粒。因此，使扇形冲洗气体供给排气构件的中间部的宽度变为被处理基板直径的 $1/4$ 、 $1/2$ 、 $3/4$ 、 $4/4$ ，来测定此时的被处理基板的微粒增加。其结果，在被处理基板表面上，即便冲洗气体供给排气构件的中间部宽度为被处理基板直径的 $1/4$ 时，亦未观测到微粒的增加。然而，在被处理基板背面、尤其是基板背面的边缘

周边,当处理片数超过1000片时,明显观测到微粒的增加。即便将冲洗气体供给/排气构件的中间部宽度增加为基板直径的1/2、3/4,亦未看到大的微粒降低效果,但当冲洗气体供给/排气构件的中间部宽度达到基板直径或基板直径以上时,几乎观测不到背面微粒的产生。根据以上的观测结果,可推断微粒产生原因为:当被处理基板被搭载于旋转基座的凹处内时,反应气体顺着该凹处与基板之间形成的槽而扩散,或者滞留在基板与基座之间,因该些反应气体与其他反应气体混合并进行气相反应而生成的反应生成物附着于基座并成长,并因与基板的物理接触或摩擦而剥离,从而成为微粒。当冲洗供给排气构件的中间宽度达到基板直径或基板直径以上时,由于不会发生含金属的反应气体与非金属反应气体在该槽内混合的现象,因此不会产生微粒。因此,本发明中,藉由冲洗气体供给/排气构件来将不同的反应气体供给构件隔开为被处理基板的直径以上,且两气体供给构件以不会来到同一基板上的方式而配置,藉此提高气体分离效率。

[0082] 接下来,对第4发明的方案进行说明。在第1发明事项及第2发明事项所示的本发明的旋转型半批次ALD装置中,若对反应气体供给构件的空穴进行包围的间隔壁下端与被处理基板之间的间隙小,则用于将反应气体的分压维持为制程压力的反应气体供给量只要少即可。而且,对于冲洗气体供给构件而言,间隙越小,则可使被处理基板表面上的气体流速越大,用于气体分离的气体供给流量只要少即可。在任一情况下,间隙越小,均可越降低ALD装置的气体使用量。然而,在旋转型半批次ALD装置中,通常,旋转基座及配置于该旋转基座上部的的气体供给构件的直径为1米(meter)以上,重量亦达到数十公斤(kilogram)以上,因高温下的材料膨胀、自重或差压,会产生相当的形状变形。因此,尽管理想的是将该间隙控制为数毫米以内,但在ALD制程中,要始终控制为数毫米以内并不容易。针对该问题,以往与旋转型半批次ALD装置相关的专利文献并未给出有效的解决方案。

[0083] 作为使用现有技术的一般的间隙控制方案,考虑如下方法:在上部气体供给构件上安装单个或多个激光(laser)光源,对被处理基板照射激光,根据入射光与反射光的相位偏移来对直至被处理基板为止的距离进行光学测定,并将该测定值实时(real time)反馈(feedback)给对旋转基座进行上下驱动的步进马达(steping motor)。对于步进马达的旋转运动与基座的上下运动之间的转换,可藉由蜗轮(worm wheel)、行星式齿轮或者齿条小齿轮(rack and pinion)等来进行。步进马达的旋转精度极为准确,通常为 0.05° 左右,因此能以数毫米左右的精度来控制间隙。然而,难以确保旋转基座与上部气体供给构件的平行度,间隙会视部位而发生变动。因此,难以在被处理基板的所有位置将间隙控制为数毫米以下。

[0084] 若有使上部气体供给构件以数毫米以下的距离来准确地悬浮的技术,则可解决上述问题。作为窄间隙悬浮方案,已知有气垫(air cushion)技术,即,藉由自多个微细孔来喷射气体而悬浮保持物体,该气垫技术已作为液晶玻璃基板或半导体硅基板的无接触(contact less)搬送技术而实用化。若间隙变小,则气体喷出压力将升高而产生更大的差压,因此加大间隙的力将自动发挥作用。如此,气垫具备自动的间隙控制功能,因此可在所有部位均匀地保持间隙。近年来,如专利文献23以及专利文献24中所设计的,亦开发出如下技术:藉由使气体排出孔与气体喷出孔交替地配置,从而提高间隙下的稳定悬浮保持特性。然而,若仅依靠气垫,则在例如1Torr左右的差压下,可悬浮的重量仅为 $1.3\text{g}/\text{cm}^2$ 左右,支承不了数十公斤以上的上部气体供给构件。作为大重量物体的悬浮技术,另有借助弹簧或磁

铁的方法,但该些构件难以实时且精度良好地将间隙控制为数毫米以下。因此,本发明中,藉由弹簧、磁铁和/或可挠性凸缘(flange)等可挠性的保持构件来悬浮保持上部气体供给构件,进而,使上部气体供给构件的冲洗气体供给部具备气垫功能,藉此提供在整片基板表面中均为数毫米以内的高精度的间隙控制方案。

[0085] 对本发明的第5发明的方案进行说明。与化学气相沉积 (Chemical Vapor Deposition, CVD) 等其他成膜方法相比,ALD制程的膜厚均匀性高,因此主要被用于形成厚度为10nm左右以下且影响组件性能的高质量薄膜的关键制程。于ALD制程中,膜厚于每个ALD循环中呈阶梯状地增加,该每个单一ALD循环的膜厚增加量通常为0.1nm~0.2nm左右。因而,在多数ALD制程中,ALD循环数为数十~一百左右。另一方面,于旋转型半批次ALD装置中,多片被处理基板同时进行成膜处理,但各片基板分别位于不同的气体供给部中。或者,亦会产生如下情况,即,即便在同一基板内,亦会视部位而位于不同的气体供给部。例如,当一片被处理基板位于金属反应气体供给部中时,其他基板可能位于冲洗气体供给部或非金属反应气体供给部、或者另一含金属的反应气体供给部中。因此,视被处理基板而具备不同的ALD循环历程,在被处理基板间或被处理基板内,ALD循环数不同,从而在基板内或基板间产生膜厚的偏差。其结果,在10nm以下的极薄膜成膜的情况下,仅相差1个ALD循环,该些偏差便将达到3%左右,ALD相对于其他CVD方法在膜厚均匀上的优势性将受损。于微反应器型半批次ALD装置中,由于在一片被处理基板上配置多个气体供给单元,因此该问题尤其会造成重大问题。因此,对转速、及各个反应气体的供给开始及阻断时的气体供给构件与被处理基板的相对位置进行调整,结果得知:无论对于何种基板片数或气体供给构件的结构,均可在所有基板的所有位置维持相同的ALD循环数及相同的暴露时间。根据以上的研究结果,于本发明中,根据被处理基板的片数或气体供给构件的结构,对各个反应气体供给及停止时的被处理基板与气体供给构件的相对位置关系、和/或被处理基板基座转速进行控制,藉此,可对所有被处理基板的所有部位实施相同膜厚的ALD。

[0086] 对本发明的第6发明的方案进行说明。反应式2中记述的非金属的ALD反应的反应速度 R_2 如数式3所示,在压力固定的情况下,可利用仅与未吸附位点 θ 成正比的一次反应来记述。藉由将反应速度 R_2 表示为 $d\theta/dt$,并解微分方程式,从而吸附位点可如下式般表示为时间的函数。此处, γ 表示 $k_2P_{NH_3}$ 。

$$[0087] \quad \theta = 1 - e^{-\gamma t} \quad (\text{数式4})$$

[0088] 当被处理基板暴露于 NH_3 气体中时,其表面将急速被 NH_x 的吸附分子所覆盖,近乎 $\theta = 1$,ALD吸附反应饱和而不再继续推进。该饱和现象对于反应式1亦会同样产生。该饱和和吸附特性是逐一原子层地沉积薄膜的ALD的特征,对应于图1所示的饱和ALD反应区域。已知的是,开始达到该ALD饱和反应区域的ALD饱和时间依存于压力,在通常的ALD压力范围下,为数微秒左右。例如,在反应式1中,当 $TiCl_4$ 的压力为1Torr时, $TiCl_4$ 反应气体藉由扩散而到达被处理基板表面。该扩散流通量 ϕ_{TiCl_4} 以下述的数式来表达。

$$[0089] \quad \phi_{TiCl_4} = P / (2\pi mkT)^{0.5} \quad (\text{数式5})$$

[0090] 此处, P 为 $TiCl_4$ 反应气体的分压。而且, T 与 m 分别表示被处理基板表面的温度与反应气体的分子量。 k 为波兹曼常数(Boltzmann constant)。于350℃的制程温度下,数式5所示的反应气体流通量达到 1×10^{20} (1/cm²s)左右。另一方面,对于几乎所有物质而言,被处理基板表面的吸附位点数为 1×10^{15} (1/cm²)。被处理基板表面上的ALD饱和反应时间 t_{s0} 可利用

反应气体流通量与表面吸附位点数之比来表示,于上述例中,可知的是,在10 μ s左右,达到数式4中的饱和状态。

[0091] 另一方面,在具备高纵横比的孔或沟槽的内部,到达其中的气体分子数变少,因此饱和反应时间 t_s 比表面上的饱和反应时间 t_{s0} 长。于最新的DRAM的堆栈电容器中,孔的直径为30nm以下,深度达3 μ m左右,纵横比为100左右。作为最单纯的模型(model),此种极高纵横比的孔的饱和反应时间 t_s 可利用自孔的入口藉由扩散而流入的气体分子占据孔内的所有吸附位点的时间来估算。其中,吸附位点数在所有的面上假定为同密度。此时,若以 α 来定义纵横比,则饱和时间 t_s 为 $t_s = 2\alpha t_{s0}$ 。在纵横比为100的情况下,所述饱和时间 t_s 为约2ms左右。实际上,进一步而言,孔或沟槽越深,则孔或沟槽内部的反应气体的流通量便越少,因此饱和时间 t_s 将变得更长。

[0092] 因此,于1Torr、350 $^{\circ}$ C时,使用本发明的旋转型半批次ALD装置,对于纵横比为0(平坦面)~80的孔图案,改变转速来进行借助TiCl₄与NH₃的TiN的ALD成膜,并使用扫描电子显微镜与穿透电子显微镜,来详细调查TiN膜的阶梯覆盖与纵横比的关系。其结果得知:如图2所示,于ALD反应中,阶梯覆盖维持1,直至某个临界(critical)纵横比为止,但当超过临界纵横比时,阶梯覆盖会急剧下降。该现象与在CVD反应中通常观测到的现象、即阶梯覆盖随着纵横比的增加而逐渐下降的现象完全不同,是ALD反应特有的现象。进而,转速越高,于NH₃气体中的暴露时间越短,则阶梯覆盖开始急剧下降的临界纵横比越低。该些现象是极为重要的发现。亦即,若预先利用实验或任何计算方法,来算出可对被处理基板上的具备最大纵横比的图案确保100%覆盖的最大转速或最少暴露时间,并将实际的ALD制程中的转速设定为算出的最大转速以下,或者将暴露时间设定为最少暴露时间以上,藉此便可对所有基板确保100%的阶梯覆盖。因此,于本发明中,基于被处理基板表面形状中的最大的纵横比来算出ALD饱和反应时间,并控制基板转速,以使基板表面暴露比算出的该饱和反应时间长的时间。

[0093] 进而,作为重要的发现事项,对阶梯覆盖开始下降的状态下的、关键纵横比与基板在NH₃反应气体供给构件中的暴露时间的关系进行因次分析,结果得知:如图3所示,暴露时间如数式6中所示般,在纵横比为10以上的情况下,所述暴露时间可近似为纵横比的2次函数。

$$[0094] \quad t_s - t_{s0} = \gamma \alpha^2 \quad (\text{数式6})$$

[0095] t_{s0} 是外插于纵横比为零的点上的点,亦即为在平坦面上维持ALD反应的暴露时间的平方根。于上述示例的实验中,包含相当的误差,而该 t_{s0} 为数十微秒左右,与在数式5之处的讨论中算出的平面上ALD饱和时间大致一致。另一方面,已知的是:在纵横比为80的情况下,饱和时间需要1秒以上,为平坦面上的饱和时间的一万倍以上,该饱和时间大幅依存于纵横比。对于具备此种高纵横比的组件而言,当进行每分钟300转的高速旋转时,反应气体的暴露时间为50ms以下左右,短于饱和时间,对于高纵横比的图案无法确保完全的阶梯覆盖。本发明可克服此种问题,可确实地确保100%阶梯覆盖。再者,亦已判明:除了TiN以外,对于Al₂O₃膜或HfO₂等其他膜种的ALD成膜,亦可获得同样的2次函数。进而,对于沟槽图案亦判明,当将饱和时间作为纵横比的函数来求出时,饱和时间可大致以1次函数来表示,且判明,无论是何种图案,均能以纵横比的1次或2次的相对较简单的函数来记述饱和时间。可知该些结果与在非专利文献11中对圆形的孔图案进行的仿真(simulation)非常一致,且可知,

该模型可适用于实际的多种ALD制程或被处理基板图案。再者,饱和时间能以纵横比的简单的1次或2次函数来表示,因此只要存在1点或2点左右的纵横比与饱和时间的数据(data),便可容易地亦对其他纵横比来求出饱和时间导出函数。例如,于上述TiN的示例中,当纵横比为10以上时, $t_s \gg t_{s0}$,只要求出某1点的纵横比 α_1 下的饱和时间 t_{s1} ,任意的纵横比下的饱和时间 t_s 便可近似为 $t_s = t_{s1} (\alpha/\alpha_1)^2$ 。根据以上的发现以及考察,本发明中,提供一种旋转型半批次ALD装置,其中,基于基板表面形状中的最大的纵横比,作为纵横比 α 的函数 $f(\alpha)$ 来算出ALD饱和反应时间,且控制基板转速,以使基板表面暴露比该算出时间长的时间。进而,对于高纵横比的图案, $f(\alpha)$ 可近似为纵横比的1次或2次函数。

[0096] 进而,将压力改为0.5Torr、3.0Torr并进行同样的实验研究,结果亦判明,制程压力与制程温度的平方根均为与最少必要暴露时间成反比的关系。因而,只要算出1种条件的压力以及温度下的饱和反应时间,便可求出任意压力以及温度下的饱和反应时间。本发明中,亦考虑该压力的效果来求必要最低暴露时间或最大转速。进而,纵横比随着ALD成膜的推进而增大,因此,于本发明中,亦考虑该制程中的纵横比增加的效果来实时地控制转速。

[0097] (发明的效果)

[0098] 藉由将以上开始的6个发明事项单独或组合使用,便可达成高生产性、低气体消耗量且低微粒产生的ALD制程,而不会有损ALD制程的最大优点即100%阶梯覆盖及高膜厚均匀性这两个特性。进而,于以往的旋转型半批次ALD装置制程技术中,极难同时达成该些性能,本发明有助于在半导体、LED或太阳能电池的领域中经济性地制造更优异的组件。

附图说明

[0099] 图1是对ALD制程中的问题进行说明的图,且表示反应气体暴露时间与反应速度的关系。

[0100] 图2是对达成本发明的发现进行说明的图,表示反应气体暴露时间与阶梯覆盖的关系。

[0101] 图3是对达成本发明的发现进行说明的图,表示蚀刻于被处理基板表面上的图案的纵横比与ALD饱和反应时间的关系。

[0102] 图4是表示下述情况的实施例中的ALD装置平面的说明图,即搭载有6片被处理基板,且含金属的反应气体供给构件以及非金属反应气体供给构件均占据相当于2片基板的区域。

[0103] 图5是表示沿着图4中的本发明实施例中的线ABC的ALD装置剖面的说明图。

[0104] 图6是表示沿着图4中的本发明实施例中的线ABD的ALD装置剖面的说明图。

[0105] 图7是表示第1本发明及第2本发明中的实施例中的含金属的反应气体供给部的剖面的说明图。

[0106] 图8是表示第1本发明及第2本发明中的实施例中的非金属反应气体供给部的剖面的说明图。

[0107] 图9是表示第1本发明及第2本发明中的实施例中的冲洗气体供给部的剖面的说明图。

[0108] 图10表示第3本发明的实施例,且是表示下述情况下的ALD装置平面的说明图,即,搭载有6片基板,且含金属的反应气体供给构件占据相当于1片基板的区域。

[0109] 图11表示第3本发明的实施例,且是表示下述情况下的ALD装置平面的说明图,即,搭载有6片基板,且含金属的反应气体供给构件占据相当于1.5片基板的区域。

[0110] 图12表示第3本发明的实施例,且是表示下述情况下的ALD装置平面的说明图,即,搭载有8片基板,且含金属的反应气体供给构件以及非金属反应气体供给构件均占据相当于3片基板的区域。

[0111] 图13表示第3本发明的实施例,且是表示下述情况下的ALD装置平面的说明图,即,搭载有8片基板,且含金属的反应气体供给构件占据相当于2.5片基板的区域。

[0112] 图14表示第3本发明的实施例,且是表示下述情况下的ALD装置平面的说明图,即,搭载有8片基板,且含金属的反应气体供给构件占据相当于2片基板的区域。

[0113] 图15表示第3本发明的实施例,且是表示下述情况下的ALD装置平面的说明图,即,搭载有8片基板,且含金属的反应气体供给构件占据相当于1.5片基板的区域。

[0114] 图16表示第3本发明的实施例,且是表示下述情况下的ALD装置平面的说明图,即,搭载有8片基板,且含金属的反应气体供给构件占据相当于1片基板的区域。

[0115] 图17表示第3本发明的实施例,且是表示下述情况下的ALD装置平面的说明图,即,搭载有8片基板,且设置有两对ALD气体供给/排气构件。

[0116] 图18是表示第4本发明的实施例中的ALD装置剖面图的说明图。

[0117] 图19是表示第4本发明的实施例中的ALD装置平面图的说明图。

[0118] 图20是表示ALD成膜控制系统的说明,所述ALD成膜控制系统包含第4本发明及第5本发明的实施例中的间隙控制流程(control flowchart)以及气体供给控制流程。

[0119] 图21是在图12所示的气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程序列(progress sequence)的说明图。

[0120] 图22是在图12所示的气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程开始时的基板配置的说明图。

[0121] 图23是在图12所示的气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程完成时的基板配置的说明图。

[0122] 图24是在图12所示的气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示将潜伏期(incubation)考虑在内的第5本发明的实施例中的ALD制程序列的说明图。

[0123] 图25是在图12所示的气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示将潜伏期考虑在内的第5本发明的实施例中的ALD制程开始时的基板配置的说明图。

[0124] 图26是在图12所示的气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示将潜伏期考虑在内的第5本发明的实施例中的ALD制程完成时的基板配置的说明图。

[0125] 图27是在图14所示的气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程序列的说明图。

[0126] 图28是在图14所示的气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程开始时的基板配置的说明图。

[0127] 图29是在图14所示的气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程完成时基板配置的说明图。

[0128] 图30是在图16所示的气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程序列的说明图。

[0129] 图31是在图13所示的气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程序列的说明图。

[0130] 图32是在图13所示的气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程开始时基板配置的说明图。

[0131] 图33是在图13所示的气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程完成时的基板配置的说明图。

[0132] 图34是在图15所示的气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程序列的说明图。

[0133] 图35是在图17所示的两对气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程序列的说明图。

[0134] 图36是在图17所示的两对气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程序列的说明图。

[0135] 图37是在图17所示的两对气体供给/排气构件与搭载有8片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程序列的说明图。

[0136] 图38是在图4所示的气体供给/排气构件与搭载有6片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程序列的说明图。

[0137] 图39是在图4所示的气体供给/排气构件与搭载有6片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程开始时的基板配置的说明图。

[0138] 图40是在图4所示的气体供给/排气构件与搭载有6片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程完成时的基板配置的说明图。

[0139] 图41是在图10所示的气体供给/排气构件与搭载有6片基板的结构中,表示第5本发明的实施例中的ALD制程序列的说明图。

[0140] 图42是表示图11所示的气体供给/排气构件的结构与搭载有6片基板时的第5本发明的实施例中的ALD制程序列的说明图。

[0141] 图43是表示图11所示的气体供给/排气构件的结构与搭载有6片基板时的第5本发明的实施例中的ALD制程开始时的基板配置的说明图。

[0142] 图44是表示图11所示的气体供给/排气构件的结构与搭载有6片基板时的第5本发明的实施例中的ALD制程完成时的基板配置的说明图。

[0143] 图45是表示使用图12所示结构的气体供给/排气构件的结构,在同一腔室内进行前处理与ALD制程时的第5本发明的序列的说明图。

[0144] 图46是表示使用图12所示结构的气体供给/排气构件的结构,在同一腔室内进行前处理与ALD制程时的第5本发明的序列的说明图。

[0145] 图47是表示第6发明的实施例中的旋转控制序列的说明图。

[0146] 图48是表示本发明的搭载有6片基板的ALD系统的实施例的说明图。

[0147] 图49是表示本发明的搭载有8片基板的ALD系统的实施例的说明图。

[0148] 符号说明:

[0149] 1:真空容器

[0150] 2:气体供给/排气构件

[0151] 3:旋转基座

- [0152] 4:被处理基板
- [0153] 5:闸阀
- [0154] 6:真空容器下部
- [0155] 7:被处理基板上下驱动用销
- [0156] 8:销保持臂
- [0157] 9:销保持臂驱动磁屏蔽罩
- [0158] 10:微波电源/调谐(tuning)装置
- [0159] 11:微波传播同轴电缆
- [0160] 12:微波天线或气体激发构件
- [0161] 13:介电板
- [0162] 14:膜厚计
- [0163] 15:旋转基座旋转控制序列发生器
- [0164] 16:间隙计测器
- [0165] 17:间隙控制序列发生器
- [0166] 18:间隙驱动马达
- [0167] 19:间隙驱动齿轮
- [0168] 20:冲洗气体流量调节阀
- [0169] 21:含金属的反应气体供给/排气部
- [0170] 22:非金属反应气体供给/排气部
- [0171] 23:冲洗气体供给/排气部
- [0172] 24:中心部冲洗气体供给/排气部
- [0173] 25:周边部冲洗气体供给部
- [0174] 26:真空容器排气口
- [0175] 27:非金属反应气体/蚀刻气体/前处理气体切换阀
- [0176] 28:蚀刻气体供给储气瓶
- [0177] 29:上部气体供给/排气构件保持用可挠性凸缘
- [0178] 30:上部气体供给/排气构件保持用弹簧或磁铁
- [0179] 31:基板加热器
- [0180] 32:旋转基座的凹处
- [0181] 33:基板加热加热器导线
- [0182] 34:旋转基座旋转轴
- [0183] 35:旋转基座磁屏蔽罩
- [0184] 36:旋转基座齿轮
- [0185] 37:旋转基座驱动马达
- [0186] 38:气体供给阻断序列发生器
- [0187] 39:含金属的反应气体供给控制阀
- [0188] 40:非金属反应气体供给控制阀
- [0189] 41:真空容器下部内壁与旋转基座之间的窄间隙
- [0190] 42:4腔室ALD装置系统

- [0191] 43:搭载6片基板的ALD制程腔室
- [0192] 44:3腔室ALD装置系统
- [0193] 45:搭载8片基板的ALD制程腔室
- [0194] 46:基板真空搬送机器人
- [0195] 47:真空搬送室
- [0196] 48:装载室
- [0197] 49:终端站
- [0198] 50:基板搬送用卡匣
- [0199] 51:前处理气体储气瓶
- [0200] 211:含金属的反应气体供给部
- [0201] 212:含金属的反应气体簇射板
- [0202] 213:含金属的反应气体供给口
- [0203] 214:含金属的反应气体排气槽
- [0204] 215:含金属的反应气体排气口
- [0205] 216:含金属的反应气体排气真空泵
- [0206] 217:含金属的反应气体供给气体储气瓶
- [0207] 218:含金属的反应气体空穴
- [0208] 219:含金属的反应气体垂直间隔壁
- [0209] 221:非金属反应气体供给部
- [0210] 222:非金属反应气体簇射板
- [0211] 223:非金属反应气体供给口
- [0212] 224:非金属反应气体排气槽
- [0213] 225:非金属反应气体排气口
- [0214] 226:非金属反应气体排气真空泵
- [0215] 227:非金属反应气体供给气体储气瓶
- [0216] 228:含金属的反应气体空穴
- [0217] 229:含金属的反应气体垂直间隔壁
- [0218] 231:冲洗气体供给部
- [0219] 232:冲洗气体簇射板
- [0220] 233:冲洗气体供给口
- [0221] 234:冲洗气体排气槽
- [0222] 235:冲洗气体排气口
- [0223] 236:冲洗气体气体排气真空泵
- [0224] 237:冲洗气体气体供给管线
- [0225] 241:中心冲洗气体供给部
- [0226] 242:中心冲洗气体簇射板
- [0227] 243:中心冲洗气体供给口
- [0228] 244:中央部冲洗气体真空排气槽
- [0229] 245:中心气体排气口

[0230] 251:周边冲洗气体簇射板

[0231] 252:周边冲洗气体供给口 253:周边冲洗气体供给口

具体实施方式

[0232] 以下,使用图来揭示包含以上所述的6个发明事项的本发明的具体实施例。

[0233] 首先,在本发明中,使用图4~图9来说明第1发明的实施例。图4表示本发明旋转型半批次ALD装置的平面图。于真空容器1的上部设置有气体供给/排气构件2,该气体供给/排气构件2包括:含金属的反应气体供给/排气部21、非金属气体反应供给/排气部22、冲洗气体反应供给/排气部23、中央冲洗气体供给/排气部24、以及周边冲洗气体供给/排气部25。在该些气体供给/排气构件2的正下方,隔开间隙g,将被处理基板4以被处理基板4的表面与基座3的表面位于同一高度的方式,而搭载于旋转基座3的凹处32内。图4的实施例中,配置有6片基板,并分别藉由1~6来标注编号。于本实施例中,搭载有被处理基板4的旋转基座3以旋转轴34为中心,并经由旋转齿轮36而藉由旋转驱动马达37来如图4中的箭头所示般,从上方观察沿逆时针方向旋转,但也可为顺时针方向。再者,旋转轴34藉由磁性流体屏蔽罩(shield) 35而受到真空屏蔽。含金属的反应气体供给/排气部21、非金属气体供给/排气部22以及配置于两者之间的两个冲洗气体供给/排气部23均呈扇形的形状,在被处理基板4的所有部位,通过各气体供给部的时间均相同。根据该方法,在被处理基板4的所有部位,于反应气体中的暴露时间均相同,可实现高的ALD膜厚均匀性。

[0234] 将图4中的ABC的剖面图示于图5,而且将ABD的剖面图示于图6。于真空容器1的上部,设置有气体供给/排气构件2。于图5中,右侧表示含金属的反应气体的供给/排气部21,左侧表示冲洗气体的供给/排气部22。图7表示金属反应气体供给部21的详细情况。含金属的反应气体供给/排气构件21包括:含金属的反应气体供给部211、包围该含金属的反应气体供给部211的间隔壁219以及真空排气槽214。于含金属的反应气体供给部211中,设置有簇射板212,于该簇射板212的正下方形成有空穴218。自气体导入口213供给的反应气体经簇射板212均匀地分散,并如图中箭头所示,成为朝下方向缓慢且均匀地流经空穴218的降流,并与正下方的处理基板表面4发生反应。未反应的气体以及反应生成气体通过空穴218下端与被处理基板4之间的狭窄的间隙g,自以包围空穴218的方式而形成的气体排出槽214排出,并通过气体排气口215而连接于真空泵(pump) 216。对于非金属反应气体供给/排气部22亦采用同样的结构,但排气系统以及真空泵成为各自独立的系统,以免与含金属的反应气体交混。再者,对于空穴的高度,已知的是:若该高度大,则气体容积会变大,ALD开始与结束时的气体的更换所需的时间将变长,因而不佳;若空穴的高度为5cm以内,则该气体更换时间为数秒以内,对装置的生产率的影响小至可忽略的程度。而且,在空穴的高度小的情况下,对于膜厚的均匀性或阶梯覆盖无影响。藉由此种反应气体供给/排气结构,两反应气体可与处理基板表面4效率良好地发生反应,同时可减少两气体消耗量。而且,两反应气体自包围各个气体供给部的气体排出槽分别独立且效率良好地排气,因此各个反应气体不会自气体供给/排出构件泄漏至外部,可获得比以往的旋转型半批次ALD装置优异的反应气体分离效果。而且,由于排气气体浓度浓,因此亦可有效地藉由再循环(recycle) 来实现再利用或者气体除害,相较于以往的旋转型半批次ALD装置,能够大幅度地降低气体的使用量。

[0235] 另一方面,冲洗气体供给/排气部23如图9所示,包含冲洗气体供给部231及包围该

冲洗气体供给部231的冲洗气体排气槽234,与金属反应气体供给/排气部21的情况不同,于簇射板212的正下方并无空穴,隔着窄间隙g而直接与处理基板4相对地配置簇射板212,藉此,自簇射板212排出的冲洗气体沿着被处理基板4而横向地流经窄间隙g,从而可将残留于被处理基板表面或凹部内的气体效率良好地排出。由于气体流速与间隙的厚度成反比,或者,为了获得相同的气体流速,间隙越窄,则可越减少使用气体流量,因此间隙g越小越有利。间隙g通常可藉由下述方式而控制为4mm以下,即:将来自光学式间隙计测构件16的信号输入至间隙控制序列发生器(gap control sequencer) 17,并藉由比例积分与微分(Proportional Integral and Differential, PID)控制来使步进马达18驱动。

[0236] 而且,于图4以及图5所示的实施例中,不仅自设置于反应气体供给/排气部21及反应气体供给/排气部22之间的冲洗气体供给部23来供给冲洗气体,亦自设置于真空容器1的中央部的冲洗气体供给/排气部24、以及呈圆周状地配置于真空容器内壁周边的周边部冲洗气体供给部25来供给冲洗气体。藉由该方式,可防止反应气体在真空容器1的中央附近及周边部发生混合。

[0237] 于本实施例中,对于所有冲洗气体供给部中所设的簇射板,考虑到制程压力几乎皆为0.1Torr左右以上,因而将气体喷出孔的配置间距设定为该压力下的氮分子的平均自由行程的3倍即5mm,已确认的是,只要该配置间距为10mm以内,便可获得良好的气流均匀性。而且,亦可取代簇射板而使用多孔质板(plate),此时,气体喷出孔间距小,因此气体分散的均匀性进一步提高。而且,为了防止反应气体在反应气体供给部211及反应气体供给部221中滞留于簇射板边缘,最外周的气体喷出孔与间隔壁的距离亦设定为5mm以下,但只要小于10mm,便可获得良好的效果。而且,亦可对角部进行弧形加工,以去除滞留部位。

[0238] 于图5以及图8中,对于非金属反应气体供给部221表示第1本发明的其他实施形态。此处,为了对限制整个ALD反应速度的、借助非金属气体的第2步骤的反应(反应式2)进行促进,于非金属反应气体供给簇射板222的正上方,经由介电板13来配置射频(Radio Frequency, RF)线圈(coil)或微波(microwave)放射天线(antenna)等等离子体激发构件12。该等离子体激发构件12通过同轴电缆(cable) 11而连接于RF或微波电源10,可使簇射板222正下方的空穴228内产生等离子体。藉由该等离子体,可激发非金属气体,以迅速推进ALD的第2步骤反应。于图8中的实施例中,是使非金属反应气体供给部221内直接产生等离子体,但亦可在反应气体供给/排气构件22的外部产生远程等离子体(remote plasma)以激发非金属气体,并将该激发自由基(radical)引导至非金属气体供给部22,并自簇射板222喷出。而且,作为生成非金属反应气体自由基的方法,除了等离子体以外,亦可藉由加热至高温的钨或铂等的金属网(mesh)来产生触媒反应,而且,亦可照射UV光。该些自由基产生手段在将氮气作为非金属反应气体而对金属氮化物进行ALD成膜时尤其有效。其原因在于:由于氮气为非活性,难以与所吸附的金属原子先驱物发生表面反应,因此必须激发氮以产生氮自由基。再者,对于含金属的反应气体的吸附反应而言,此类气体分子激发构件多会造成负面(minus)效果。亦即,含金属的气体分子的配位基会被等离子体等夺去,从而分子彼此引起气相反应,由此产生微粒,或者因CVD反应导致阶梯覆盖下降。因此,借助等离子体等的气体分子激发构件仅用于非金属反应气体供给部221,而不设置于含金属的反应气体供给部211中。

[0239] 于非金属反应气体供给部221中所设的等离子体产生构件12不仅用于对制程气体

进行活化以促进ALD成膜速度的情况,亦用于将沉积于旋转基座3上的ALD反应生成物予以去除、蚀刻的情况。此时,作为制程气体,使用 ClF_3 、 NF_3 、 F_2 等卤素(halogen),将金属氧化物、金属氮化物作为挥发性的金属卤素化合物而去除。于本发明的实施形态中,在5000片被处理基板上形成10nm的TiN膜之后,不搭载基板,将温度升温至400℃而藉由等离子体来产生氯自由基,以将附于旋转基座上的TiN膜予以去除。

[0240] 再者,作为与被处理基板4的温度控制相关的公知技术,在基座3的凹处32正下方埋设有用于对被处理基板4进行加热的加热器31,从而可控制被处理基板4的温度。加热温度是在可覆盖(cover)几乎所有ALD反应的100℃~500℃的范围内,根据成膜的膜种类或反应气体的种类来设定。亦提出有将加热器埋入整个旋转基座内、或者将加热器另行配置于基座4的正下方的方法,但于本实施例中,考虑到节能、温度控制的高速性与高精度化、防止加热器材料腐蚀以及维护(maintenance)的容易性等观点,加热器31是在旋转基座3内仅埋入基板4正下方的区域中。但是,本发明并非对加热器加热方式进行限制,任一种方式皆可。而且,作为成膜制程中的另一公知技术,对整个真空容器1进行保温,且对于真空容器1的内壁、以及搭载有基板4的部位以外的旋转基座3的表面,将该些部分的温度控制为下述温度,该温度比推进ALD反应的制程温度低、且为规定的制程压力下的含金属的反应气体的凝聚温度以上。进而,于旋转基座3上设置有静电夹盘(chuck)(省略图示),以使基座3高速旋转,或者即便增加气流,被处理基板4亦不会悬浮或脱离。

[0241] 接下来,藉由图4~图9来说明第2本发明的实施例。在金属反应气体供给部211、非金属反应气体供给部221、为了使两气体分离而设置于两气体供给部之间的冲洗气体供给部231、以及设置于气体供给部中央且用于分离气体的冲洗气体供给部241的周围,各自独立地配置有含金属的反应气体真空排气槽214、非金属反应气体真空排气槽224、冲洗气体真空排气槽234、以及中央部冲洗气体真空排气槽244,以自含金属的反应气体排气口215、非金属反应气体排气口225、冲洗气体排气口235、以及中央部冲洗气体排气口245各自独立地排气。含金属的反应气体是藉由含金属的反应气体真空泵216来排气,非金属反应气体是藉由非金属反应气体真空泵226来排气,对于冲洗气体,将自冲洗气体排气口235、中央部冲洗气体排气口245、以及设置于真空容器下部6的真空容器排气口26排出的冲洗气体统一藉由冲洗气体真空泵236来排气。再者,仅对于设置在真空容器壁周边的周边部冲洗气体供给构件25,通过旋转基座3与真空容器壁6间的间隙41来排出冲洗气体,而不在周边冲洗气体供给构件25的内侧配置排气槽。这是因为,周边气体冲洗供给构件25并非主要以气体分离为目的而设置,而是以真空容器内的压力设定、及后述的上部气体供给构件2与被处理基板4的间隙控制为目的而设置。但是,当然亦可在周边冲洗供给部的内侧配置真空排气槽。藉此,对于所有的反应气体供给部以及冲洗气体供给部各别以独立的真空排气槽来包围,将反应气体供给部以及冲洗气体供给部的气体排气通过二重构造,将各气体分别有效地排气,从而相较于以往的旋转型半批次ALD装置而言能够获得更好的分离效果。并且,由于排气气体浓度浓,能够有效地进行再循环利用及气体减排,从而相较于以往的旋转型半批次ALD装置而言能够大幅度地降低气体使用量。

[0242] 接下来,对于第3本发明,使用图4、图7以及图10~图17来说明实施例。于图4所示的实施例中,在旋转基座3上搭载有6片被处理基板4。呈扇形的含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22以相同的打开角度,各自占据相当于2片基板的区

域,且分别仅隔开1片基板的距离而配置。在该相当于1片基板的宽度的气体分离区域中,配置冲洗气体供给/排气部23。此时,无论于何种时机,均不会出现含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22位于同一基板上的情况,因此反应气体不会顺着图7中的旋转基座3的凹处32与基板4之间的间隙发生混合,从而不会引起背面微粒的增加。

[0243] 图10表示第3本发明的另一实施形态。于旋转型半批次ALD制程中,反应气体供给/排气部21及反应气体供给/排气部22的面积越大,则被处理基板4与反应气体的接触时间将变得越长,相应地,可越快地旋转,从而可提高生产率。尤其有效的是:将非金属反应气体与被处理基板4的接触时间维持为尽可能长。图10中为如下情况:在被处理基板为6片的情况下,含金属的反应气体供给/排气部21占据相当于1片基板的区域,另一方面,非金属反应气体供给部22占据相当于3片基板的区域。与图4的情况同样,两气体供给/排气部仅彼此隔开相当于1片基板的区域而配置,于该气体分离区域中设置有冲洗气体供给/排气部23。图11中,对于第3本发明,表示又一实施形态。此处为如下情况:在被处理基板为6片的情况下,含金属的反应气体供给/排气部21占据相当于1.5片基板的区域,另一方面,非金属反应气体供给/排气部22占据相当于2.5片基板的区域。此时,各个气体供给部的边界与被处理基板设置部位错开,在所有时间内,含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22彼此隔开1片基板的距离,反应气体不会顺着基座3的凹处32与基板4之间的间隙而发生混合。于以上所述的实施例中,揭示了含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22的面积比为2:2、1.5:2.5、1:3的情况,但并不限定于该面积比,只要介于2:2~1:3之间,则无论是何种任意比率皆可,例如2.3:2.7等。而且,尽管为罕见的情形(case),但含金属的反应气体供给/排气部21的面积亦可大于非金属反应气体供给/排气部22的面积,究竟采用何种反应气体供给/排气部的结构,需根据维持ALD饱和反应所需的含金属的反应气体吸附反应的必要最低暴露时间与非金属反应气体气体吸附反应的必要最低暴露时间之比来决定。无论如何,关键的是:含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22仅隔开相当于1片基板的扇形区域的距离而设置。

[0244] 于图12~图17中揭示的本发明的实施例表示:在旋转基座3上搭载有8片被处理基板4的情况下,不同的含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22的面积比的结构形态。该些图中,为了使结构更加明确,将与基板和气体供给构件的相对位置相关的信息以外的部分、例如膜厚计、间隙计测器、基板升降销(pin)等予以省略。图12的实施例中,含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22具备相同面积,各自覆盖相当于3片基板的区域。两反应气体供给/排气部仅隔开相当于1片基板的区域而配置,因此两气体不会顺着基板4周围的间隙而发生混合。图13、图14、图15以及图16分别是:含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22所覆盖的区域的面积比为2.5:3.5、2:4、1.5:4.5、1:5时的本发明的实施形态。无论何种情况下,含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22皆仅彼此隔开1片基板的距离,反应气体不会顺着基板4周围的凹处的间隙而发生混合。与搭载有6片基板的旋转型半批次ALD装置的情况同样,含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22的面积比并不限定于该些值,只要介于3:3~1:5之间,则无论何种比率皆可。而且,含金属的反应气体供给/排气部21的面积亦可大于非金属反应气体供给/排气部22的面积,究竟采用何种反应气体供给/排气部结构,需根据维持ALD饱和反应所需的含金属的反应气体吸附反应

的必要最低暴露时间与非金属反应气体吸附反应的必要最低暴露时间之比来决定。无论如何,关键的是:含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22仅隔开相当于1片基板的扇形区域的距离而设置。

[0245] 图17中,对于第3发明,表示搭载有8片被处理基板的ALD装置的另一实施形态。此处,两组含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22分别隔开相当于1片基板的区域而配置。本实施例具有如下优点:藉由供给两种含金属的反应气体和/或两种非金属反应气体,从而可沉积包含不同成分的膜的混合(hybrid)膜。例如,藉由将第1含金属的反应气体设为Hf前驱物气体,将第2含金属的反应气体设为Al前驱物气体,并自两个非金属反应气体供给部分别供给臭氧,从而可使HfO₂/Al₂O₃的混合膜进行成膜。但是,该方式中,各个反应气体供给/排气部仅占据相当于1片基板的区域,因此,于各个反应气体供给部中,被处理基板接触反应气体的时间变短,相应地,旋转基座的转速变低,生产率下降。

[0246] 接下来,使用图18、图19以及图20来表示第4本发明的实施例。本实施例中,如图18所示,上部气体供给构件2成为如下机构,即,相对于真空容器1,可经由可挠性波纹管(bellows)29而沿上下方向变动该上部气体供给构件2的位置的机构,且所述上部气体供给构件2由永磁铁对30予以支持。即,上部的永磁铁与下部的永磁铁以彼此排斥的方式设置,悬浮保持上部气体供给构件2。如图19所示,在真空容器1的周边,隔开固定的间隔而设置有多个永磁铁对30,以使负荷均等地分散,但亦可以占据真空容器整个外周的方式来设置所述永磁铁对30。对于磁铁的强度及结构,以下述方式来进行选择,即,在使真空容器成为真空而相对于大气压存在差压的状态下,上部气体供给构件2在即将悬浮之前取得平衡(balance)。再者,作为上部气体供给/排气构件2的悬浮保持装置,于本实施例中使用了永磁铁对,但亦可使用弹簧或电磁线圈等,关键的是:将该些悬浮保持构件与借助气垫的间隙微调构件加以组合使用。

[0247] 作为气垫,在与ALD制程基本相同或比ALD制程稍高的1Torr~数Torr的压力下,将冲洗气体自周边部冲洗气体供给部25和/或中心部冲洗气体供给/排气部24朝向旋转基座3喷出。含金属的反应气体、非金属反应气体以及自该些反应气体之间供给的冲洗气体亦具有与制程压力和真空容器基压(base pressure)的差压相当的悬浮力,该些气体供给构件亦可用作气垫。若将该些情况全部考虑在内,则本实施例中,气垫力达到20kg重左右。该悬浮力并非可抬起上部气体供给/排气构件的大小,但若与前述的借助弹簧或磁铁等的悬浮保持构件加以组合,便可达到足够的大小。而且,对于冲洗气体供给簇射板结构,亦可在簇射板上交替地配置气体的喷出孔与排气孔。此时,排斥力与吸引力同时发挥作用,从而可自匹配且精度良好地控制该间隙。

[0248] 作为精度良好地控制上部气体供给/排气构件2与被处理基板4的间隙g的方法,于本实施例中,如图18所示,利用激光计测构件16来计测间隙g,并经由间隙控制序列发生器17而PID反馈给冲洗气体喷出量调整阀20,藉此来控制间隙。此处,激光计测构件16对不同的3点进行测定,并对来自沿周方向一分为三的冲洗气体供给部的气体供给量个别地进行控制,藉此,提高间隙在整个基座区域内的面内均匀性。亦可进一步增多气体供给部的周方向分割数,从而提高均匀的间隙控制特性。而且,激光光学式计测构件16的个数只要以如下方式来选择即可,即,对藉由间隙控制而实现的气体使用量的降低与装置制造费用进行比较,在经济上达到最佳。该间隙控制如图20所示,被组入ALD成膜控制系统中,且自被处理基

板4搭载于真空容器内的基座3上并排气成真空后,直至ALD制程完成而旋转停止后被排气成高真空并即将打开闸阀(gate valve)之前为止,始终持续所述间隙控制。藉由使用以上于本实施例中揭示的气垫、悬浮保持构件、以及间隙控制系统的技术,可将上部气体供给/排气构件2的下端与旋转基座3的间隙g维持为1毫米左右以下的距离。

[0249] 接下来,对于第5本发明,使用图5与图20及图21~图44来揭示实施形态。对于成膜制程序列,首先,于图5中,自配设于真空容器1的下部6的排气口26、以及配置于真空容器1的上部的气体供给/排气构件2的排气口215、225、235、245,藉由真空泵236、216以及226,将真空容器1与气体供给/排气构件2的内部全部排气成高真空。达到规定的高真空后,打开真空容器1中配设的闸阀5,使可上下驱动的臂(arm)8驱动,藉此使销7上升,并使用真空搬运机器人(robot)(省略图示),将被处理基板4搬送至已预先设定为规定温度的旋转基座3的凹处32的位置,并将被处理基板4搭载于销7之上。接下来,通过磁屏蔽罩9来使销保持臂8驱动,藉此使销7朝下方向下降,以将被处理基板4搭载于旋转基座3的凹处32中。在将第一片基板搭载于旋转基座3上之后,使旋转基座3朝逆时针方向旋转至下片基板搭载位置为止,藉由同样的方法,将第2片被处理基板4搭载于旋转基座3上。藉由重复该步骤,将所有被处理基板4搭载于旋转基座3上。在搭载所有被处理基板之后,藉由埋入于旋转基座3中的静电夹盘(省略图示)来使被处理基板4密接于基座3,并关闭闸阀5。此处,如图20所示,将被处理基板片数、目标膜厚、旋转基座起始位置(home position)、单一ALD循环成膜速度、形成于被处理基板上的图案的最大纵横比等,事先输入至ALD装置控制系统中。当然,亦可将气体流量或温度图案等其他制程参数(process parameter)输入至控制系统,但此处为了明确第5本发明的实施内容,仅列出(list up)与本发明相关的参数。接下来,根据以上的资料,算出含金属的反应气体的供给开始以及停止位置、非金属反应气体的供给开始以及停止位置、必要ALD循环数、反应气体供给开始/结束时刻的旋转基座转速、恒定状态下的基座转速等。将被处理基板搭载于旋转基座上之后,将旋转基座3的位置设置(set)到起始位置。接下来,使冲洗气体自真空容器上部的冲洗气体供给部23、中心部冲洗气体供给部24、以及设置于真空容器6周边的周边部冲洗气体供给部25流出,并自各个气体排气槽进行真空排气,藉此将真空容器内的压力设定成规定的制程压力。接下来,使旋转基座3以初始转速开始旋转,在被处理基板4到达事先输入的规定部位的时刻,经由气体供给阻断序列发生器38来控制气体供给阻断阀39及气体供给阻断阀40,藉此,自各个反应气体供给/排气部21、22开始含金属的反应气体和/或非金属反应气体的喷出、排气。或者,亦可预先使冲洗气体自各反应气体供给部流出,并在规定的位置切换成反应气体。此时,对于最初的1转,藉由与被处理基板片数及气体供给/排气构件2的结构相应的ALD开始时的变动转速图案来旋转。第2转以后,以根据纵横比算出的恒定ALD转速来使旋转基座3旋转。被处理基板4与旋转基座3一同旋转,藉此依序暴露于含金属的反应气体、冲洗气体、非金属反应气体以及冲洗气体中,从而推进ALD制程。当ALD循环数达到目标ALD循环数、即最接近将目标膜厚除以单一ALD循环中的成膜所得的值的整数值时,在事先输入的被处理基板位置,经由气体供给阻断序列发生器38来控制气体供给阻断阀39及气体供给阻断阀40,藉此来阻断含金属的反应气体以及非金属反应气体的供给,完成ALD反应。当在ALD成膜过程中藉由联机(inline)设置的膜厚计14来实时地计测膜厚时,在膜厚达到规定膜厚的时刻,视为ALD制程完成。藉由该ALD开始与完成时刻的控制,在所有被处理基板上获得相同的膜厚。当ALD制程完成时,将含金属的

反应气体以及非金属反应气体分别在预定的位置切换成冲洗气体。将残存于真空容器内的反应气体完全排出后,使旋转基座3停止于起始位置,藉由步进马达朝下方向下降,并停止冲洗气体。然后,将真空容器内排气成高真空后,打开闸阀5,以与将被处理基板4搭载于基座3时相反的顺序,使用上下驱动销7及真空搬运机器人(省略图示),将被处理基板4自真空容器1排出至装载(load lock)室(省略图示)内。以下,使用图21~图44,对于本发明的制程序列以及气体供给/停止时的旋转基座3以及被处理基板4的位置,表示搭载有8片基板与搭载有6片基板时的若干个具体的实施例,但本发明是根据气体供给/排气构件2的结构来调整转速以及气体供给/停止时机的基板位置,藉此来对所有基板维持相同的ALD循环数与相同的暴露时间,从而实施目标膜厚的ALD成膜,本发明并不限于所揭示的具体例。

[0250] 作为本发明的一个实施例,图21表示下述情况的ALD制程序列,即,被处理基板片数为8片,含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22夹着相当于1片被处理基板的冲洗区域而配置,且两反应气体供给部面积各自占据相当于4片基板的面积的区域,而且,图22及图23表示该序列中的ALD开始以及完成时刻的基板位置。在该序列图中,符号A表示含金属的反应气体,符号B表示非金属反应气体,符号P表示冲洗气体。而且,为了明示被处理基板4与气体供给构件2的相对位置,将气体供给/排气构件2分割成8个区域,并分别标注编号1~8。于起始位置,第1片基板对应于第1位置,依序地,如第2片基板对应于第8位置、第3片基板对应于第7位置般逆向地对应。本实施例中,于该起始位置,使含金属的反应气体与非金属反应气体在同一时刻开始流动,将该时刻设为ALD开始时刻。此时,如图22所示,第1片~第3片基板接触至含金属的反应气体,第5片~第7片基板接触至非金属反应气体。第4片与第8片基板接触至冲洗气体。在该ALD开始时刻,第1片被处理基板仅与1个金属反应气体区域接触,为恒定状态下的接触时间的1/3。同样,第2片被处理基板与金属反应气体接触的时间为恒定状态下的接触时间的2/3。为了弥补该短的接触时间,于旋转开始时,在最初的基板暴露步骤中,将转速设定为恒定旋转的1/3或1/3以下。同样,于第2片基板暴露步骤中,将转速设为恒定旋转的2/3或2/3以下。实施例中,将恒定转速设为30RPM,将第1片基板处理时的转速设为5RPM,将第2片基板处理时的转速设为20RPM。将ALD开始时的转速设为5RPM而非恒定旋转的1/3即10RPM的理由是:在反应气体供给开始时,于切换时,有时耗费2秒左右以上的时间,该自冲洗气体向反应气体的切换实际上已将直至喷出至被处理基板为止的时滞(time lag)考虑在内。或者,亦可在已停止基座旋转的状态下,开始反应气体的供给,且放置2秒~3秒左右之后,开始旋转。藉由此种ALD开始时的变动转速控制,可使所有的被处理基板于最初的金属反应气体中暴露足够的时间。

[0251] 另一方面,本实施例中,ALD的停止如图23所示,为阻断金属反应气体的时机。此时,第1片被处理基板位于第6气体供给构件区域(冲洗气体供给部)。在该ALD反应序列完成时刻,所有8片基板将于金属反应气体中暴露n次。在含金属的反应气体阻断后,仍使非金属反应气体继续流动,于第1片基板在第n+1转时到达第4个气体供给构件区域位置的时刻、或该时刻以后,使所述非金属反应气体停止,藉此,对于所有基板,可使被处理基板表面终结于非金属气体中。其结果,对所有8片被处理基板实施n层的ALD序列。此处,在含金属的反应气体停止时,第8片被处理基板刚刚进入最后的含金属的反应气体供给构件的区域中,仅与含金属的反应气体接触恒定旋转状态下的1/3的时间。因此,在ALD完成时的最后的基板处理步骤中,将基座转速设为恒定速度的1/3或1/3以下的转速。而且,在其1片前的基板处理

的时刻,对于第7片被处理基板而言,与含金属的反应气体的接触时间为恒定旋转状态下的 $2/3$,因此将转速设为恒定转速的 $2/3$ 或 $2/3$ 以下。本实施例中,在阻断含金属的反应气体的2片前的时刻,使转速下降至20RPM,进而,在阻断时,使转速下降至10RPM。再者,本实施例中,将恒定转速设定为每分钟30转,但并不固定于该值,如第6本发明实施例中后述般,可根据被处理基板图案的最大纵横比来事先设定。例如,若是纵横比为10左右的图案,则可使转速升高至200RPM左右,而不使阶梯覆盖特性下降。而且,在进行ALD开始时与完成时的变动转速控制的情况下,最初与最后的1转所需的时间会变得稍长,但整体的转速为100转以上,由此造成的生产率下降的影响小至可忽略的程度。

[0252] 作为本发明的第2实施形态,对于下述情况的其他实施例,在图24中表示ALD制程序列,而且,在图25与图26中表示该序列中的ALD开始以及完成时刻的基板位置,所述情况为:被处理基板片数为8片,含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22夹着相当于1片被处理基板的冲洗区域而配置,两反应气体供给部面积各自覆盖相当于3片基板的相同面积的区域。于ALD制程中,经常会产生所谓的潜伏期(incubation),即:对于最初的数个循环,吸附反应难以推进,成膜无进展。这是因为最初的金属反应气体的吸附难以进展而引起,必须仅使含金属的反应气体与被处理基板接触相对较长的时间。而且,若吸附于被处理基板的第1层的原子并非金属原子或非金属原子中的任一者,则ALD成膜后的薄膜的特性有时会发生劣化。因此,本实施例中,假定第1层的吸附原子为金属的情况,对于最初的数转,仅使含金属的反应气体流动,以充分促进金属原子的初始吸附反应之后,在被处理基板4到达规定的气体供给/排气构件2的部位的时刻,使非金属反应气体流动。此时,将使非金属反应气体开始流动的时间设为ALD开始时间。本实施例中,如图25所示,所述ALD开始时间为第1片被处理基板到达第3位置(最初的非金属反应气体供给部)的时间。此时,第7片基板位于第5位置,因此仅暴露于1个非金属反应气体供给/排气部22中,与通常暴露于3个连续的非金属反应气体/排气部22中的恒定状态相比,接触时间为 $1/3$ 。同样,第8片基板与非金属反应气体接触的时间为恒定状态的 $2/3$ 。为了弥补与该非金属反应气体的接触时间的低下,在最初的第1片基板的处理时,将转速设为恒定旋转的 $1/3$ 或 $1/3$ 以下,在第2片基板的处理时,设为恒定转速的 $2/3$ 或者 $2/3$ 以下的转速。再者,图中,将仅使含金属的反应气体流动的时间设为1个循环,但在潜伏期时间长的情况下,亦可进而将该循环增加至数个循环为止。

[0253] ALD停止与前实施例同样,设为阻断金属反应气体的时机。此时,如图26所示,第1片被处理基板位于第4气体供给构件区域(非金属反应气体供给部中央)。在该ALD反应序列完成时刻,所有8片基板将于金属反应气体中暴露 n 次。在含金属的反应气体阻断后,仍使非金属反应气体继续流动,于第1片基板在第 $n+1$ 转到达第2个气体供给构件区域位置的时刻、或该时刻以后,使所述非金属反应气体停止,藉此,对于所有基板,可使被处理基板表面终结于非金属气体中。其结果,对所有8片被处理基板实施 n 层的ALD序列。此处,在含金属的反应气体停止时,第6片被处理基板刚刚进入最后的含金属的反应气体供给构件的区域,仅与含金属的反应气体接触恒定旋转状态下的 $1/3$ 的时间。因此,在ALD完成时的最后的基板处理步骤中,将基座转速设为恒定速度的 $1/3$ 或 $1/3$ 以下的转速。而且,在其1片前的基板处理的时刻,对于第5片被处理基板而言,与含金属的反应气体的接触时间为恒定旋转状态下的 $2/3$,因此将转速设为恒定转速的 $2/3$ 或 $2/3$ 以下。本实施例中,在阻断含金属的反应气体的2

片前的时刻,使转速下降至20RPM,进而,在阻断时,使转速下降至10RPM。

[0254] 而且,图27、图28以及图29表示本发明的又一实施例。此处,当隔开相当于1片被处理基板的区域而配置金属含有反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22时,对应于下述装置结构的情况,即,比起含金属的反应气体供给/排气部21,非金属反应气体供给/排气部22占据2倍大的面积。即,设计成:含金属的反应气体供给/排气部21占据相当于2片基板的区域,而非金属反应气体供给/排气部22占据相当于4片基板的区域。对于ALD的开始,为了降低潜伏期,在最初的1转中,仅使含金属的反应气体流动,藉此,使含金属的反应气体充分吸附至基板表面,然后,在第1片被处理基板于第2转到达第3位置之时,使非金属反应气体开始流动,将该时间设为ALD开始时间。在潜伏期时间长的情况下,亦可进一步加长仅使含金属的气体流动的循环。此处,对于第6片、第7片、第8片基板而言,最初与非金属气体接触的面积比起恒定状态,分别为1/4、1/2、3/4,因此最初的第1片、第2片、第3片基板处理时的转速分别设为恒定转速的1/4、1/2、3/4或该些转速以下。藉由该ALD开始时的变动转速控制,可使所有基板与非金属反应气体的接触时间相同。

[0255] 对于ALD的完成,在第n转且第1片基板到达第4位置之时,停止含金属的反应气体的供给,将该时刻设为ALD完成时。此时,第5片基板相对于恒定状态仅以1/2的面积接触至金属反应气体,因此,倒数第1片基板处理时的转速设为恒定转速的1/2或1/2以下的转速,以确保所有基板相对于第n个非金属气体为相同的接触时间。ALD完成后,藉由仅使非金属反应气体流动,从而对于所有被处理基板,实施n层的ALD序列,且使该些被处理基板的表面终结于非金属反应气体中。

[0256] 对于图16中所示的下述情况,即,含金属的反应气体供给/排气部21占据相当于1片基板的区域,非金属反应气体供给/排气部22占据相当于5片基板的区域,且所述两个反应气体供给部以相当于1片基板的区域的冲洗气体供给/排气部23而分离的情况,依照图30所示的ALD序列,进行ALD开始以及完成时的基板位置控制与变动转速控制,藉此,可对所有被处理基板实施n层的ALD处理,且维持相同的暴露时间,进而,可使所有该些被处理基板的表面终结于非金属气体中。详细的说明与所述的实施例同样且重复,因此予以省略。

[0257] 进而,使用图31、图32以及图33,来说明下述情况下的ALD制程序列的实施例,即:如图13所示,被处理基板片数为8片,含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22夹着相当于1片被处理基板的冲洗气体供给/排气部23而配置,且含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22各自占据相当于2.5片及3.5片被处理基板的区域。本实施例中,为了降低潜伏期而仅使含金属的反应气体流动,藉此,使含金属的反应气体确实地充分吸附至基板表面,然后,在如图32所示般第1片被处理基板到达第2位置与第3位置的中间之时,使非金属反应气体开始流动,将该时间设为ALD开始时间。此处,对于第6片、第7片、第8片基板而言,最初与非金属气体接触的面积比起恒定状态,分别为2/7、4/7、6/7,因此最初的第1片、第2片、第3片基板处理时的转速分别设为恒定转速的2/7、4/7、6/7或该些转速以下。尤其在第1片基板处理时,必须考虑到自冲洗气体向非金属气体切换的时滞,而进一步降低转速,本实施例中设为5RPM。藉由该ALD开始时的变动转速控制,可使所有基板与非金属的接触时间相同。

[0258] 对于ALD的完成,如图33所示,在第n转且第1片基板到达第3位置与第4位置的中间之时,停止含金属的反应气体,将该停止时刻设为ALD完成时刻。此时,第5片与第4片基板相

对于恒定状态而各自仅以2/5、4/5的面积接触至金属反应气体,因此在倒数第2片与倒数第1片基板处理时,转速设为恒定转速的4/5、2/5或该些以下的转速,以确保所有基板相对于第n个非金属气体为相同的接触时间。ALD完成后,藉由仅使非金属反应气体流动,从而对于所有被处理基板,实施n层的ALD成膜,且可维持相同的暴露时间,进而可使该些被处理基板的表面终结于非金属气体中。

[0259] 图34表示下述情况下的ALD制程序列的实施例,即:如图15所示,被处理基板片数为8片,含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22夹着相当于1片被处理基板的冲洗气体供给/排气部23而配置,且含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22各自占据相当于1.5片以及4.5片被处理基板的区域。此时,亦藉由进行ALD开始以及完成时的基板位置控制以及变动转速控制,从而对于所有被处理基板,可实施n层的ALD处理,且可维持相同的暴露时间,进而,可使所有该些被处理基板的表面终结于非金属气体中。详细的说明与所述的实施例同样且重复,因而予以省略。

[0260] 而且,图35~图37表示旋转基座3的1转包含多个ALD循环的情况下的ALD序列实施例。于该制程序列图中,符号A、B、C、D及P分别表示第1含金属的反应气体、第1非金属反应气体、第2含金属的反应气体、第2非金属反应气体及冲洗气体。此处,如图17所示,于旋转基座3上搭载有8片被处理基板,且将包括含金属的反应气体、第1冲洗气体、非金属反应气体及第2冲洗气体的一个气体供给/排气构件配置2组。此时,如图35所示,最初,在第1片基板位于第1位置的起始位置,便使所有气体开始流动,同时以低速开始旋转。本实施例中,考虑到自冲洗气体向反应气体更换时的时滞,将开始时的转速设为恒定转速的1/3。对于第1片~第4片基板,最初于基板上沉积含有第1金属的膜,对于第5片~第8片基板,最初于基板上沉积含有第2金属的膜。对于ALD的停止,在刚达到n+1转数的第1片基板到达第1位置时,将第1含金属的反应气体及第2含金属的反应气体这两者阻断,将该时刻设为ALD完成时刻。对于第1非金属反应气体及第2非金属反应气体,在第1基板到达第3位置的时刻或此时刻以后予以阻断。藉由该序列,可获得已对所有基板沉积有规定次数的ALD膜,所有的基板表面终结于非金属反应气体而成为稳定的状态。但是,对于第1基板~第3基板而言,最表面层包含含有第2金属的膜,而第4基板~第8基板的最表面层包含含有第1金属的膜。

[0261] 图36表示下述情况下的ALD制程序列,即:于图17所示的气体供给/排气构件的结构中,对于所有基板,由含有第1金属的膜来开始成膜。此时,在旋转基座3位于起始位置时,开始第1含金属的反应气体以及第1非金属反应气体的供给,并且开始旋转。继而,在第1片基板到达第5位置时,开始第2含金属的反应气体以及第2非金属反应气体的供给。藉由该序列,对于所有基板,使含有第1金属的膜最初成膜,继而使含有第2金属的膜成膜。对于ALD的结束,在第n转且第1片基板到达第8位置的时刻,仅停止第1含金属的反应气体的供给。接下来,在达到第n+1转且第1片基板到达第4位置时,阻断第1含金属的反应气体。对于两种非金属反应气体的阻断,是在第n+1转且第1片基板位于第8位置或此后的时刻来阻断。藉由此种序列,对于所有基板,可实现由相同的膜顺序构成的n层的混合成膜。

[0262] 而且,图37表示下述情况下的实施例,即:于图17所示的气体供给/排气构件的结构中,对于所有基板,以仅含有第1金属的膜来成膜。最初,自第1位置及第5位置的含金属的反应气体供给/排气部,仅供给含金属的反应气体。在第1片基板到达第3位置的时刻,开始两个非金属反应气体的供给,将该时刻设为ALD开始时刻。对于ALD的完成,在第n转且第1片

基板到达第3位置时,阻断两个含金属的反应气体供给/排气部,随后,在第1片基板到达第6位置时,阻断两种非金属反应气体。藉由该序列,对于所有基板实施 $2n$ 层(偶数)的ALD成膜。在进行 $2n+1$ (奇数)层的ALD成膜的情况下,藉由下述操作来达成,即:使阻断的时机错开半转,在第1片基板到达第7位置时,阻断两种金属反应气体,而且,在第1片基板为第 $n+1$ 转且到达第2位置时,阻断非金属反应气体。

[0263] 进而,图38~图40表示旋转基座3上的搭载有6片被处理基板的装置结构下的ALD制程序列的实施形态的一例。此处,如图4中所示,金属反应气体供给/排气部21以及非金属反应气体供给/排气部22均占据相当于2片基板的区域,且彼此隔开相当于一片基板的区域的冲洗气体供给/排气部23而配置。本实施例中,首先仅使含金属的反应气体流动,以使含金属的反应气体充分吸附至所有被处理基板表面,然后,如图39所示,在第1片基板到达第3位置时开始非金属反应气体的供给,将该时刻设为第1层的ALD开始时刻。对于ALD的完成时刻,在达到第 n 转且如图40所示般第1片基板到达第4位置时,停止含金属的反应气体的供给,随后仅供给非金属气体。藉由该序列,可于所有6片基板中,实施 n 层的ALD成膜,且可使所有基板的表面终结于稳定的非金属气体中。而且,与被处理基板为8片时同样,在ALD开始的第1层与最后的第 n 层中,藉由降低转速的变动旋转控制,所有被处理基板可确保相同的反应气体接触时间。

[0264] 而且,对于下述结构,图41表示一个ALD制程序列,所述结构为:如图10所示,于旋转基座上搭载有6片被处理基板,含金属的反应气体供给/排气部21占据相当于1片基板的区域,非金属反应气体供给/排气部22占据相当于3片基板的区域,且所述含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22以占据相当于1片基板的区域的冲洗气体供给/排气部23而分离。本实施例中,在第1片基板位于第1位置的起始位置,开始所有的气体供给,将该时刻设为ALD开始时刻。对于ALD的完成,在刚达到第 $n+1$ 转且第1基板到达第1位置的时刻,阻断含金属的反应气体,将该时刻设为ALD完成时刻。对于非金属反应气体,随后,在第 $n+1$ 转且第1基板位于第5位置或者此后的时刻停止。藉由该序列,可于所有6片基板中,实施 n 层的ALD成膜,且可使所有基板的表面终结于稳定的非金属反应气体中。而且,与被处理基板为8片时同样,对于ALD开始的第1层,考虑到自冲洗气体向非金属反应气体的切换时滞,而降低转速,藉此,所有被处理基板确保相同的反应气体处理接触时间。本实施例中,无需完成时的变动旋转控制。

[0265] 进而,对于下述结构,图42~图44表示一个ALD制程序列,所述结构为:如图11所示,于旋转基座3上搭载有6片被处理基板,含金属的反应气体供给/排气部21占据相当于1.5片基板的区域,非金属反应气体供给/排气部22占据相当于2.5片基板的区域,且所述含金属的反应气体供给/排气部21与非金属反应气体供给/排气部22以占据相当于1片基板的区域的冲洗气体供给/排气部23而分离。本实施例中,如图43所示,在第1基板到达第2片与第3片的中间位置的时刻,开始供给含金属的反应气体,将该时刻设为ALD开始时刻。对于ALD的完成,在达到第 n 转且如图44所示般第1基板到达第3片与第4片的中间位置的时刻,阻断含金属的反应气体,将该时刻设为ALD完成时刻。对于非金属反应气体,随后,在第 $n+1$ 转且第1基板到达第3位置的时刻或者此后的时刻停止。藉由该序列,对于所有6片基板,可实施 n 层的ALD成膜,且可使所有基板的表面终结于稳定的非金属气体中。而且,与被处理基板为8片时同样,在ALD开始的第1层与最后的第 n 层中,进行使转速降低的变动旋转控制,藉

此,所有被处理基板确保相同的反应气体处理接触时间。

[0266] 在使DRAM电容器的TiN金属电极或高-k绝缘膜等薄膜进行ALD成膜时,有时必须将形成于被处理基板表面的自然氧化膜予以去除,或者,相反地还需要基板前处理,所述基板前处理是藉由低损伤(damage)的等离子体来使基板表面形成高质量的自由基氧化膜。于以往的技术中,在此种情况下,使用与ALD腔室不同的前处理腔室来进行前处理制程。然而,于此种方式中,装置结构成为群集系统,昂贵且生产性亦下降。藉由应用第5本发明,可利用同一制程腔室来进行前处理与ALD成膜。图45表示下述情况的实施例,即,在进行ALD成膜之前,藉由蚀刻气体(气体C)来对被处理基板进行前处理。此时,于图20中,设定蚀刻时间、过蚀刻(overetch)率,算出前处理所需的转速。首先,自两个反应气体供给/排气部21、反应气体供给/排气部22将蚀刻气体喷出至被处理基板表面,对表面进行蚀刻。此处,为了对所有基板维持蚀刻的均匀性,而使基座旋转。但是,由于转速不影响生产性,因此亦可进行缓慢的旋转。在蚀刻前处理完全完成的时刻,将气体切换为冲洗气体并继续旋转仅2转~3转。然后,在将前处理气体完全排出且旋转基座到达起始位置的时刻,开始含金属的反应气体的供给,使含金属的反应气体充分吸附至经表面处理的基板表面后,在第1片基板到达第1位置(起始位置)的时刻,开始供给非金属反应气体,将该时刻设为ALD开始时刻。对于ALD的停止,在达到第n转且第1片基板到达第2位置时,停止含金属的反应气体的供给,将该时刻设为ALD完成时刻。之后仍继续使非金属反应气体流动,在第n转且第1片基板到达第8位置的时刻或此时刻以后,停止非金属反应气体的供给。藉由此种序列,可在同一制程腔室内进行基板的前处理与ALD制程这两者。图46表示前处理制程的另一实施形态。此处,使用设置于非金属反应气体供给部221中的等离子体等激发构件,生成氧自由基、氮自由基或氢自由基,于被处理基板上形成高质量的自由基氧化膜、自由基氮化膜,或者将形成于基板表面的质量差的自然氧化膜予以去除,随后,藉由ALD制程来形成高质量ALD薄膜。此时,在前处理以及ALD制程中,亦对各个气体供给/阻断时的基板的位置与转速进行控制,藉此可对所有基板实施仅必要时间的前处理,并移行至ALD制程。

[0267] 对于第6本发明,使用图47所示的转速控制序列来说明其实施形态。首先,在相对于被处理基板的最大纵横比图案的ALD饱和反应时间为已知的情况下,将该值输入至装置制程配方(recipe)。在该值不明的情况下,则输入制程压力、温度、反应气体种类、最大纵横比,算出该些制程条件下的相对于最大纵横比图案的饱和反应时间相当函数。作为算出相当函数的一个实施例,在对纵横比为10以上的图案进行ALD成膜时,在某制程压力 P_1 、某温度 T_1 下,求出某1点的纵横比 α_1 下的饱和时间 t_{s1} ,并藉由下述数式来记述任意温度 T 、压力 P 、纵横比 α 下的饱和时间 t_s 。

$$[0268] \quad t_s = t_{s1} (\alpha/\alpha_1)^2 (P_1/P) (T_1/T)^{0.5} \quad (\text{数式7})$$

[0269] 藉由以可维持所求出的饱和反应时间的方式来调整基座的转速,从而既可确保完全的阶梯覆盖,又可达成最大生产率。

[0270] 作为第6本发明的另一实施例,揭示如下情况,即,在ALD制程处理过程中,根据成膜膜厚来逐渐改变转速。亦即,若将ALD制程前的最初的纵横比设为 α_0 、于单一的ALD循环中成膜的膜厚设为 h ,则于第 n 个循环中,在两侧的侧壁上形成厚度为 h 的膜,因此第 n 个循环中的纵横比能以 $\alpha(n) = \alpha_0 / (1 - 2nh/d)$ 来算出。此处, d 为最大纵横比图案的宽度或直径。根据该 $\alpha(n)$ 求出第 n 个循环的饱和时间,算出此时的转速,并实时地改变转速。藉由此种实时转

速控制,可加快纵横比相对较小的初期ALD阶段中的转速,既可维持100%的阶梯覆盖,又可获得最大生产率。

[0271] 图48以及图49表示搭载有多个本发明的ALD制程腔室的装置系统。于图48所示的4腔室ALD成膜系统42中,在一个ALD制程腔室43中搭载6片基板,且于一个系统中搭载4个制程腔室。因此,可同时对24片基板进行成膜处理。而且,于图49所示的3腔室ALD成膜系统44中,于一个ALD制程腔室45中搭载8片基板,且于一个系统中搭载3个制程腔室。两系统均具备共享的终端站(end station) 49、出入用装载室48、真空搬送室47以及基板真空搬送机器人46,且具备在一个系统中可将24片的被处理基板作为1批次来同时进行处理的能力。对于制程腔室数或基板片数,并不限于本实施例,只要根据产量或生产品种来选择适当的系统即可。

[0272] 使用图48所示的4腔室结构系统,表示将本发明装置及制程适用于TiN的ALD成膜的制程实施例。在压力4Torr、温度350℃的条件下,将TiCl₄以及NH₃分别用作金属反应气体及非金属反应气体,并使用本发明的旋转型半批次ALD装置来成膜10nm的TiN膜。作为被处理基板,使用图案化有直径为50nm且纵横比为80的孔的硅基板。作为冲洗气体,使用氮。此处,于旋转基座上搭载6片直径为300mm的被处理基板。而且,对于气体供给/排气构件,如图4所示,含金属的反应气体供给部与非金属反应气体供给部各自覆盖相当于2片基板的区域,且藉由占据相当于1片基板的区域的冲洗气体供给部而分离。于真空容器中心部的半径12cm处,设置有中央冲洗气体供给部。而且,于周边部,在宽度7cm处,亦配置有周边冲洗气体供给部。含金属的反应气体供给部、非金属反应气体供给部以及冲洗气体供给部全部由2cm宽度的真空排气槽所包围。TiCl₄以及NH₃的气体流量分别设为200SCCM(标准立方厘米每分钟(Standard Cubic centimeter per minutes))。在对反应气体进行分离的两个冲洗气体供给部中,冲洗气体流量分别为400SCCM。真空容器壁全部保温加热至200℃。气体供给构件是由凸缘及图17所示的24个弹簧予以保持。设定间隙为0.8mm,藉由光学式激光,于被处理基板上的3点,对气体供给构件与被处理基板之间的间隙进行计测。藉由自中央冲洗气体以及周边部冲洗气体供给部分别进行500SCCM、1SLM的供给,基板不会接触至气体供给构件,而以0.8mm的间隙受到稳定保持。对于ALD的开始/完成时机,根据图29的序列来实施气体供给开始、阻断。

[0273] 纵横比为80时的饱和时间为1.8秒,初始恒定转速设定为10RPM。完成时刻的饱和时间为4.8秒左右,转速为6RPM。包括基板的搬送以及升温等的开销(overhead)在内,一个ALD制程腔室的平均生产率为25WPH,于图49所示的4腔室系统中,尽管存在因开销引起的生产率的下降,但仍达成80WPH的高生产率,所述开销是伴随自终端站至制程腔室间的基板搬送而产生。此时,对于阶梯覆盖,利用扫描电子显微镜以及穿透电子显微镜进行观察,结果为,即使对于纵横比为80的孔,亦获得100%的阶梯覆盖。另一方面,对于最大纵横比为10的设计(design),实施同样的ALD制程,结果,即使将转速升高至200RPM为止,亦可确保100%的阶梯覆盖,每一个制程腔室的生产率达到与CVD同等的90WPH,获得极高的性能。图48所示的3腔室系统的生产率达200WPH以上的生产率。此时亦对所有基板达成100%的阶梯覆盖。

[0274] 对于微粒,实施3000片的马拉松测试(Marathon test),获得基板表面侧为+5个以内且背面为+500左右的稳定结果。TiN的膜厚为10.08nm,面内均匀性以及面间再现性达成

非常良好的性能,为0.8% (3 σ)。

[0275] 对于气体利用效率、即所供给的TiCl₄以及NH₃气体中作为TiN而成膜的Ti及N的原子的比例而言,两者均为2%。可知的是,这是通常的ALD的气体利用效率即1%以下的2倍效率,可有助于极大地削减原料气体成本。

[0276] [产业上的可利用性]

[0277] 于本发明说明书中,主要对在半导体制造制程中的应用进行了叙述,但本发明藉由变更基板的尺寸、形状、原材料等,从而可作为具备高生产性、高阶梯覆盖、低气体消耗量的性能的ALD表面处理装置,而广泛利用于液晶、太阳电池、LED、锂离子(lithium ion) 2次电池电极、纳米材料(nanomaterial)、生物材料(biomaterial)等的组件制造产业中。

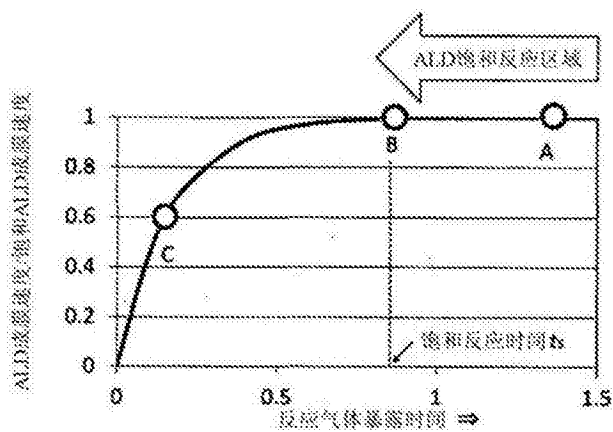


图1

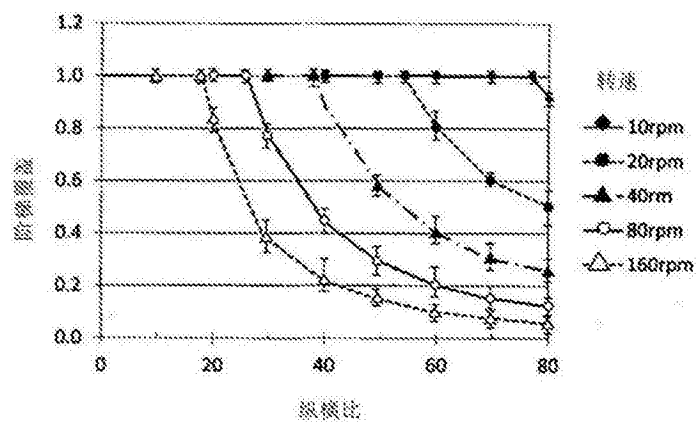


图2

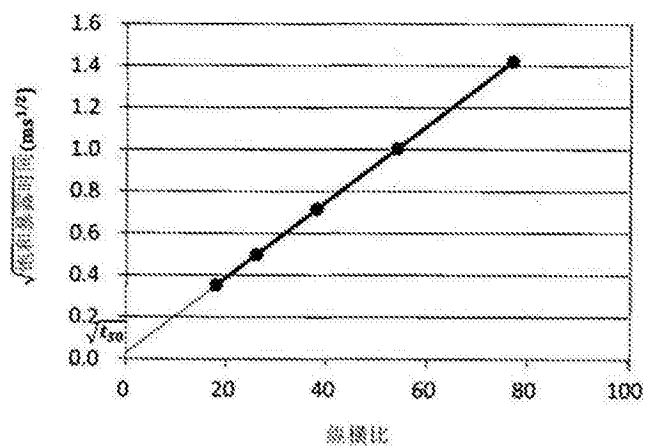


图3

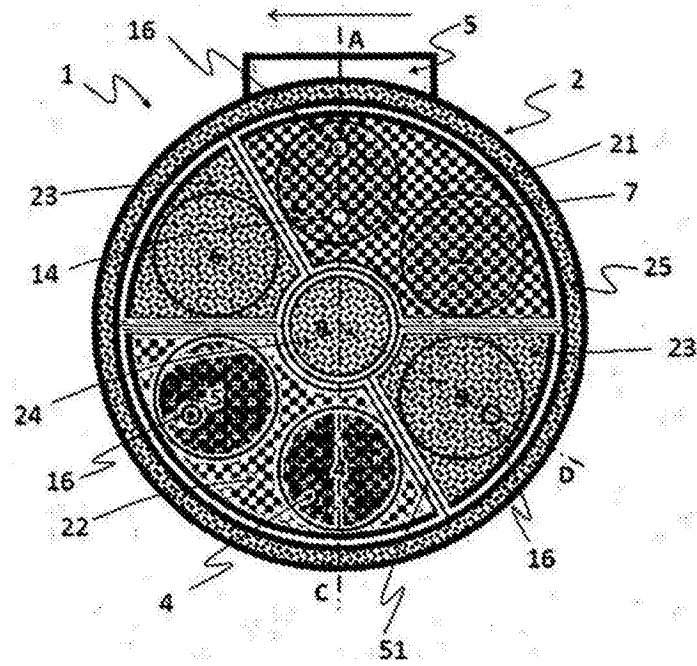


图4

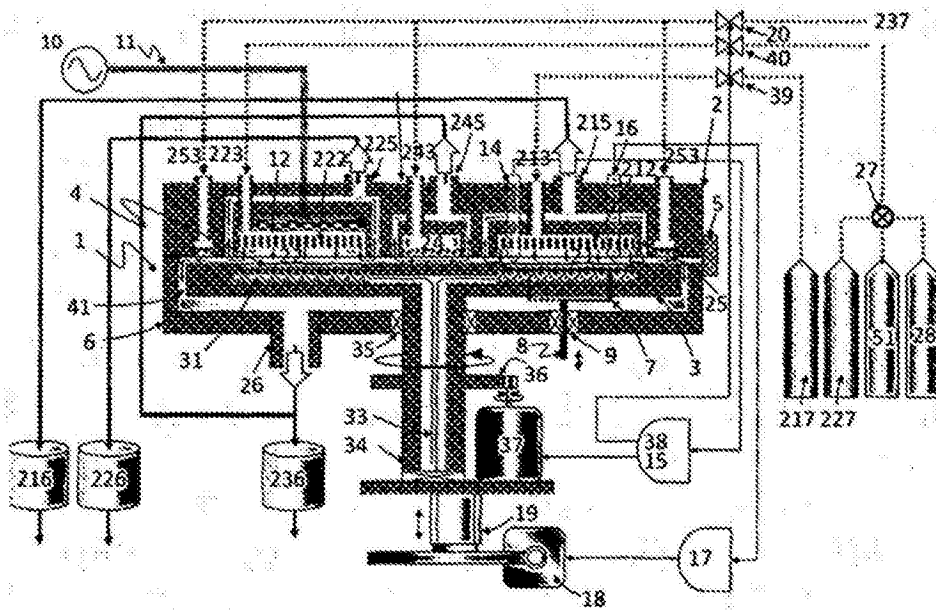


图5

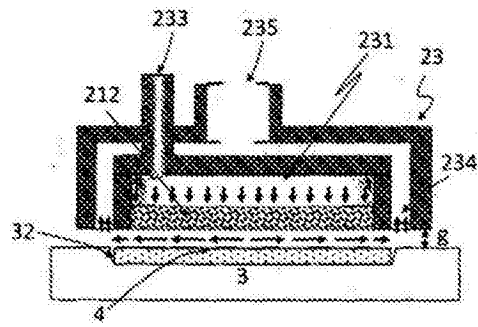


图9

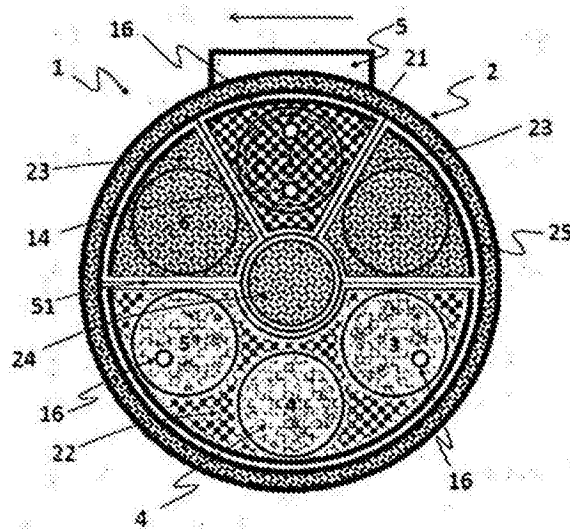


图10

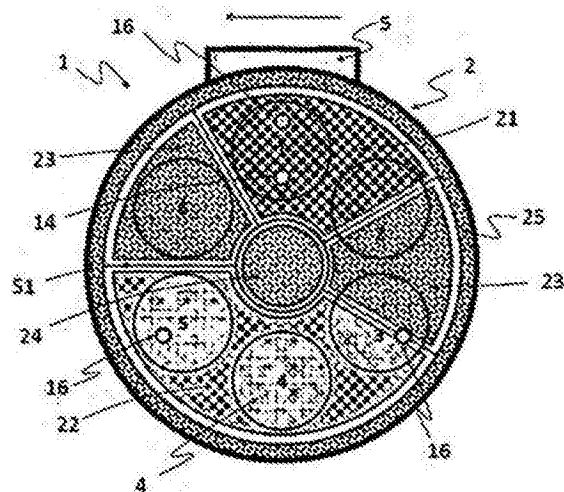


图11

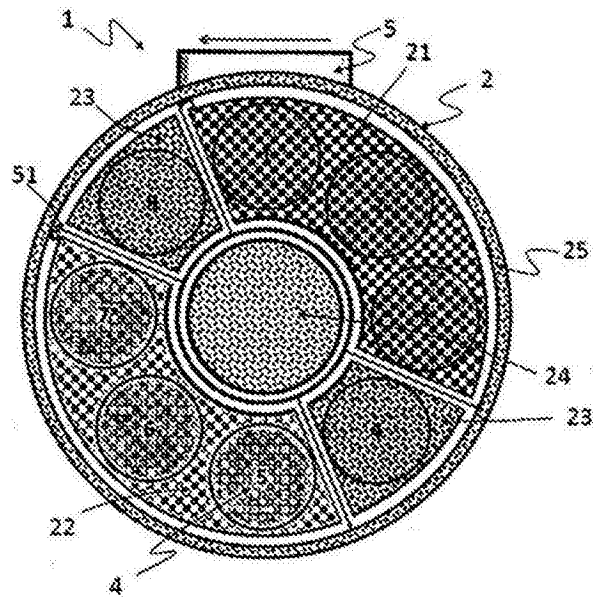


图12

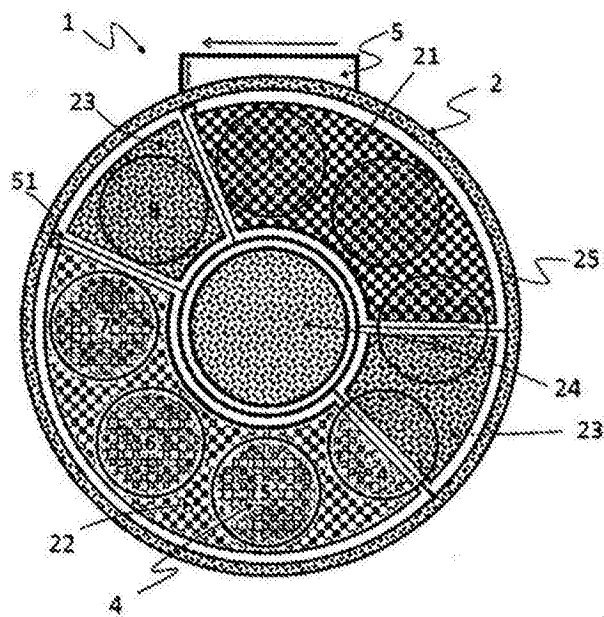


图13

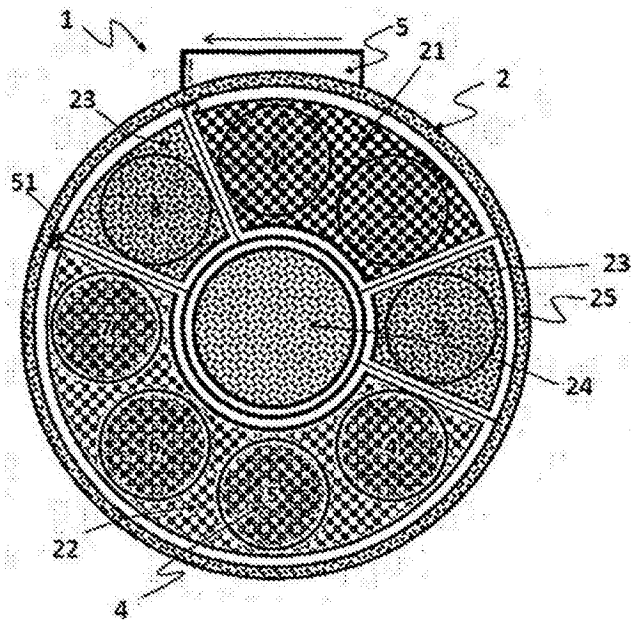


图14

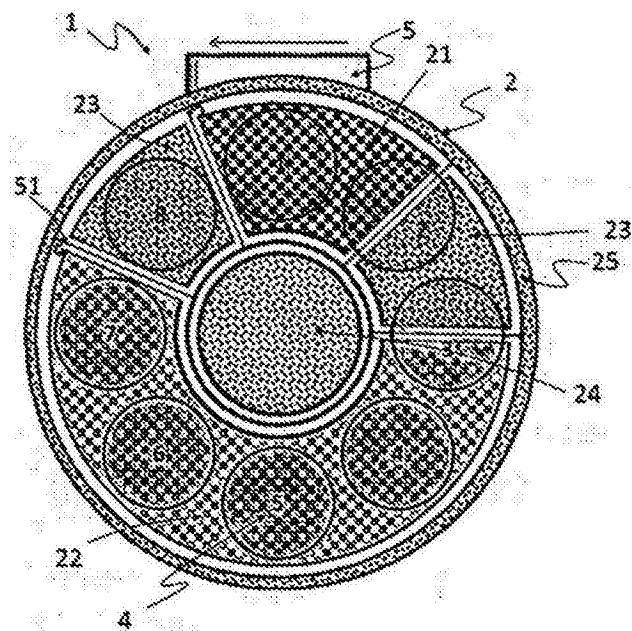


图15

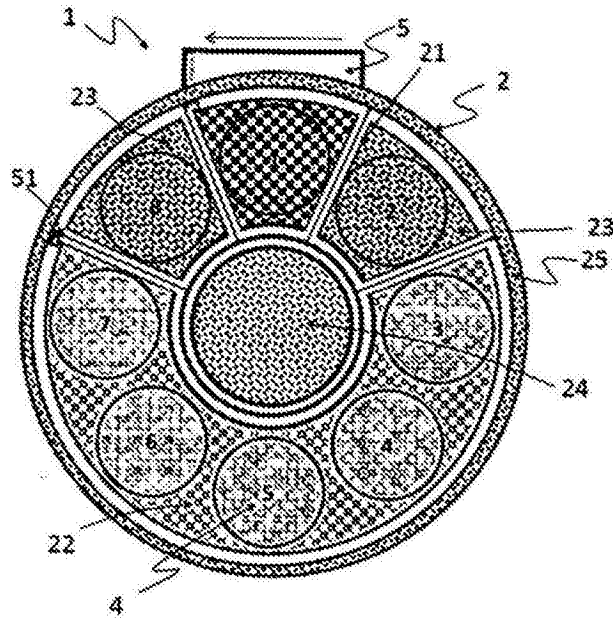


图16

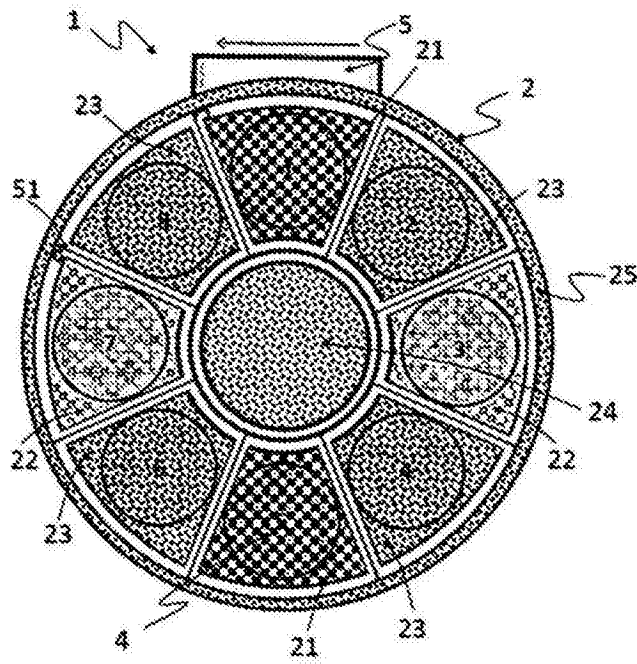


图17

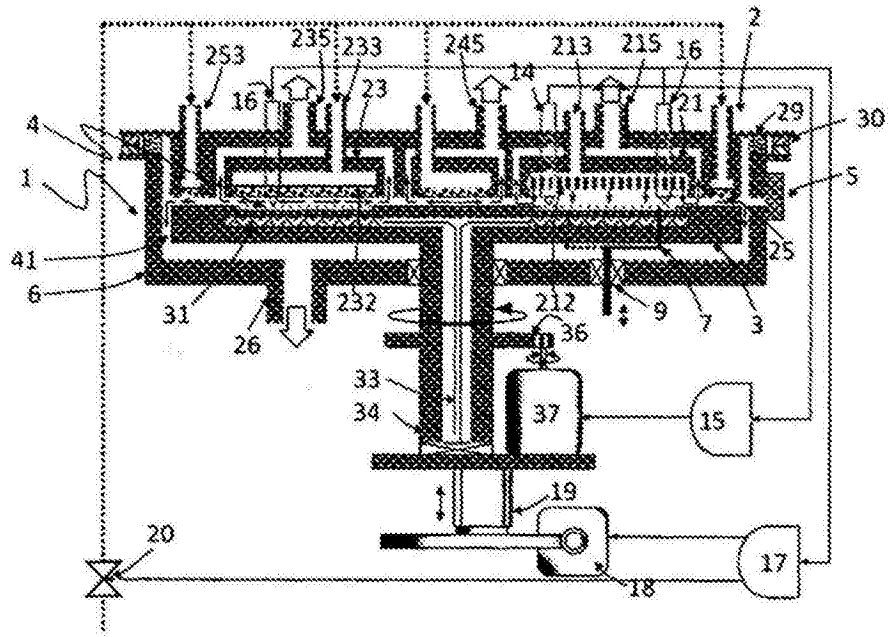


图18

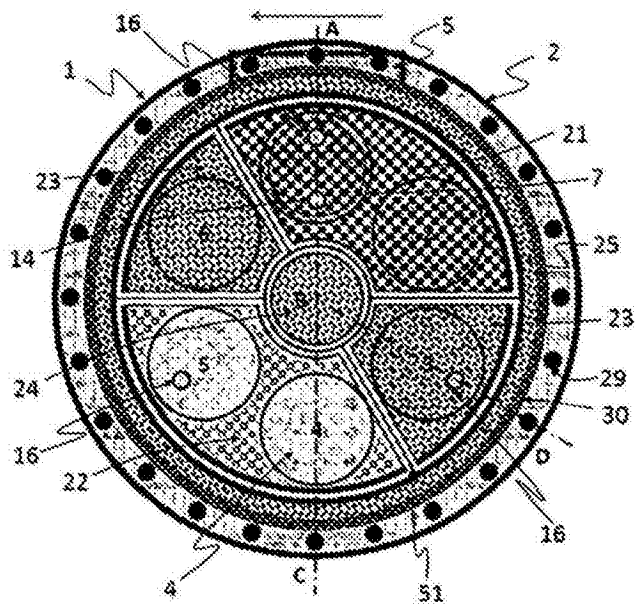


图19

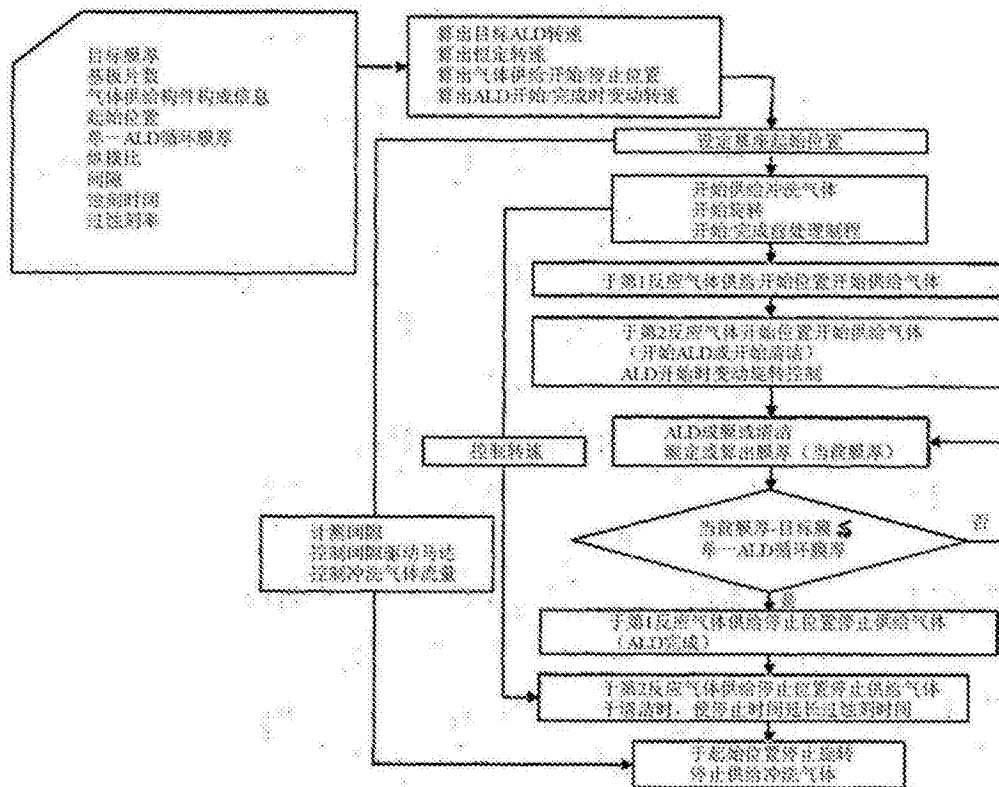


图 20

[illegible]

图21

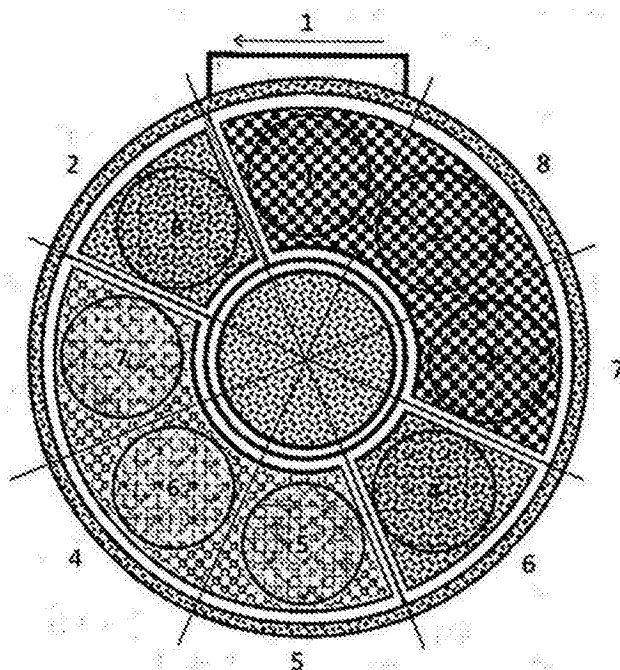


图 22

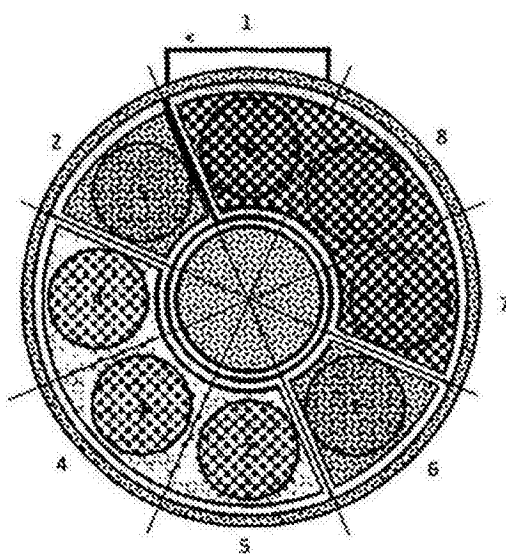


图23

[illegible]

图24

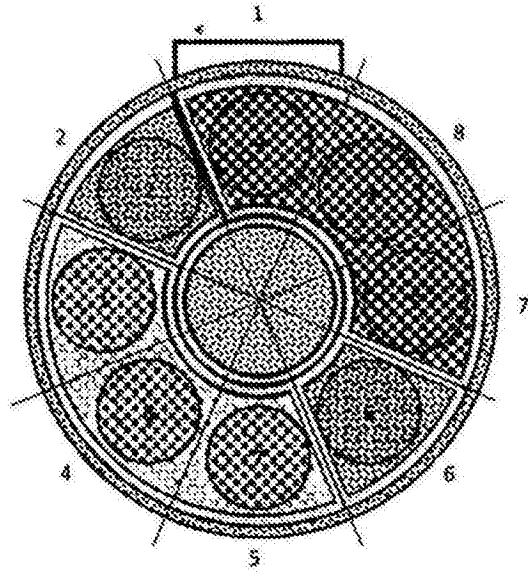


图25

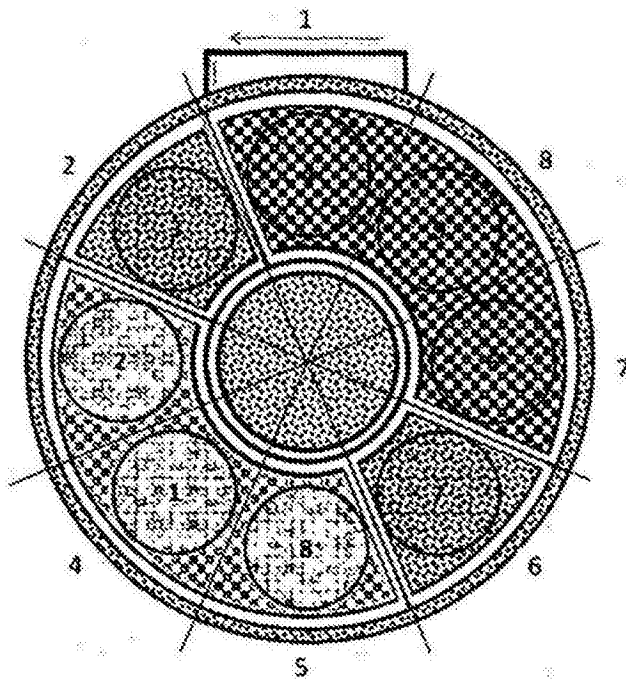


图26

旋转	开始	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423	1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	1456	1457	1458	1459	1460	1461	1462	1463	1464	1465	1466	1467	1468	1469	1470	1471	1472	1473	1474	1475	1476	1477	1478	1479	1480	1481
----	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

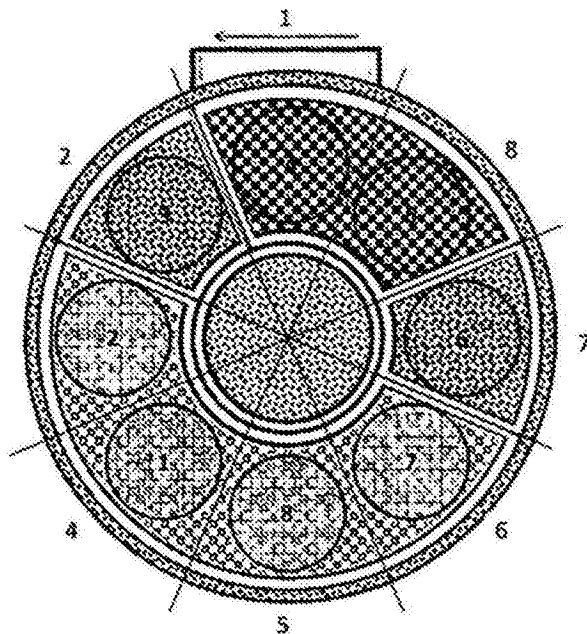


图29

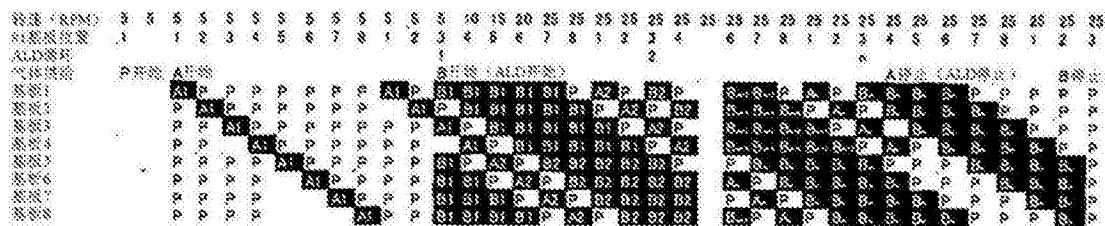


图30

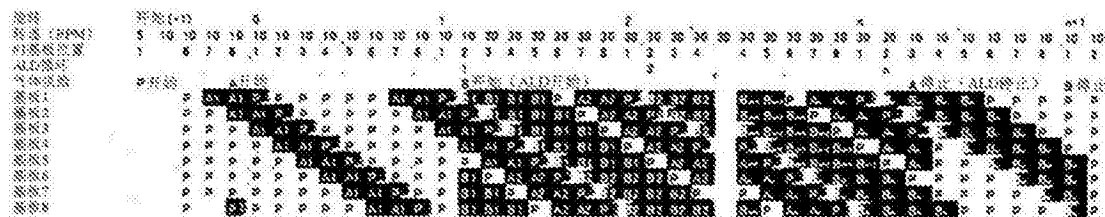


图31

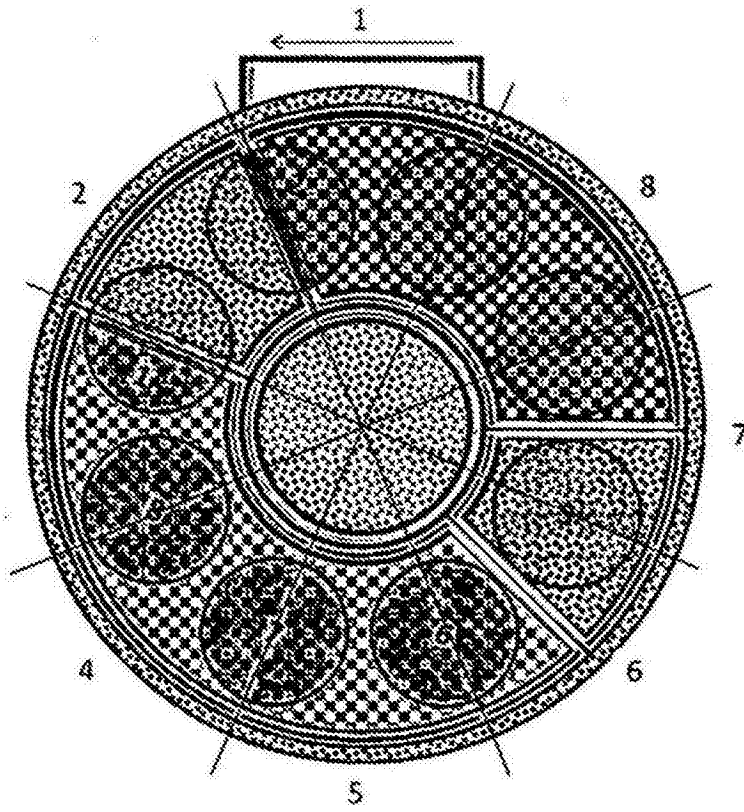


图32

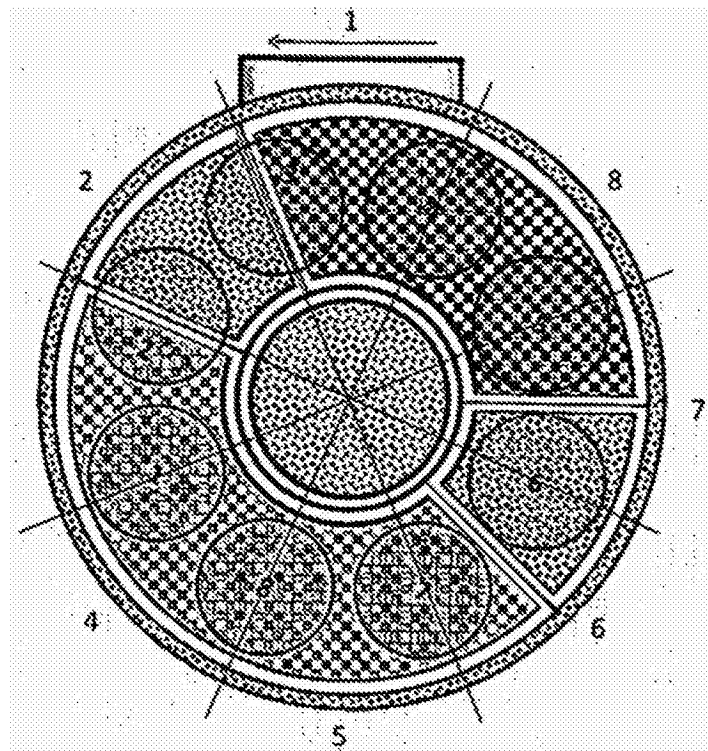


图33

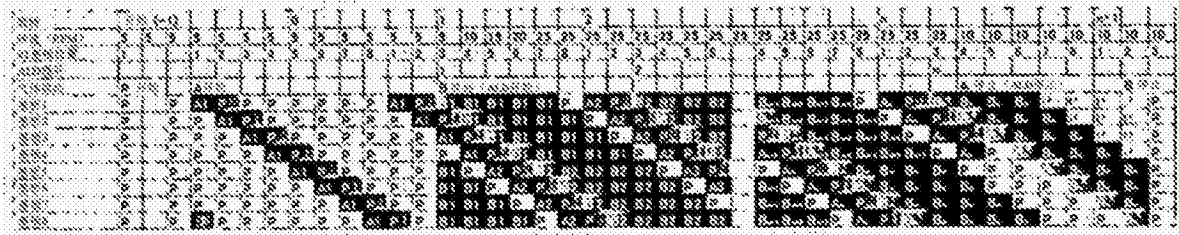


图34

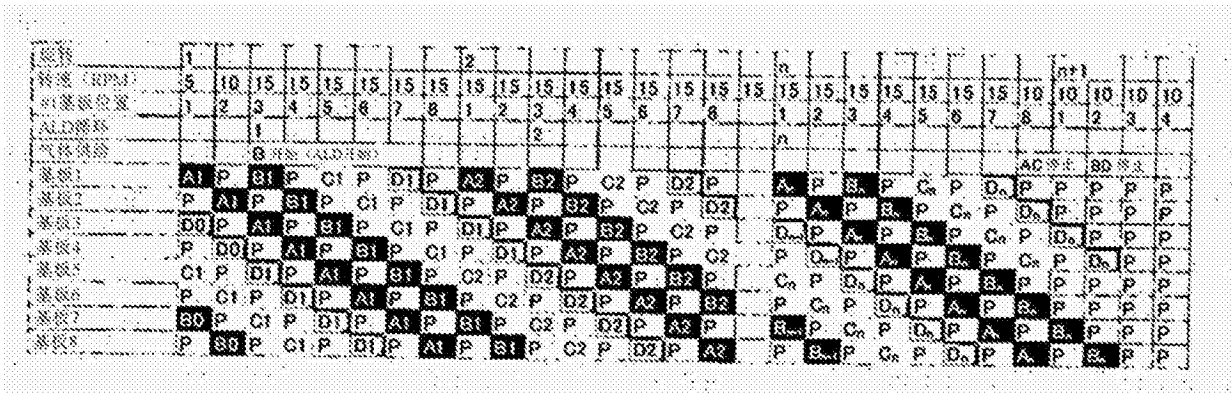


图35

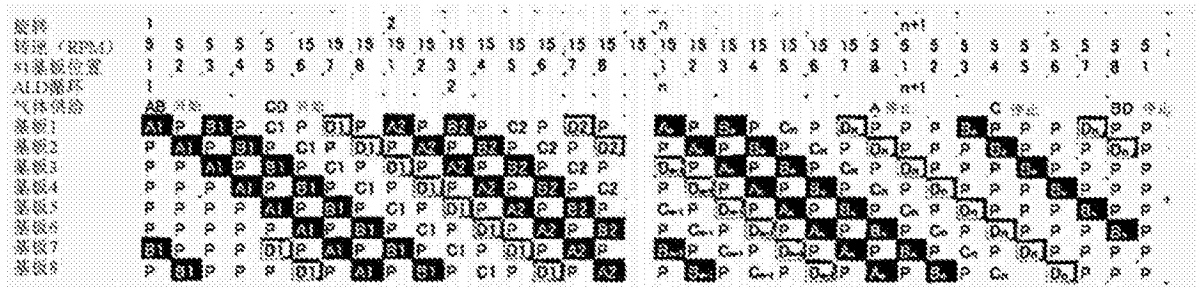


图36

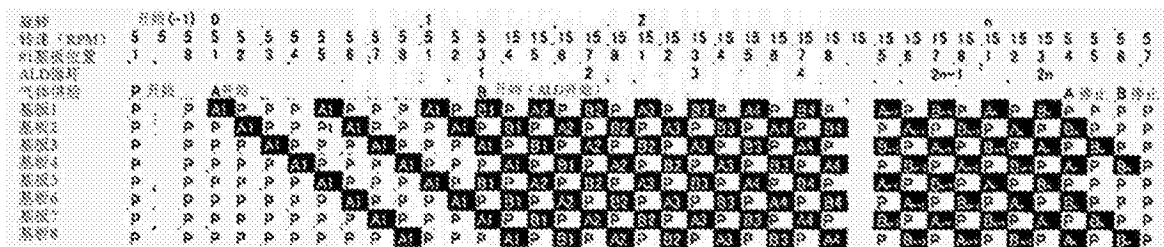


图37

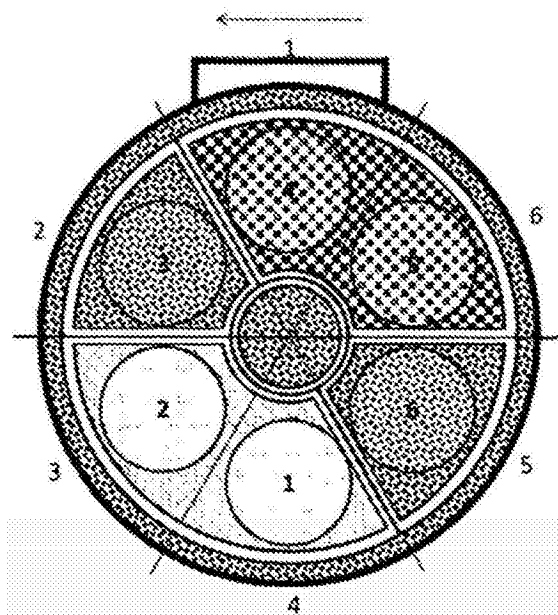


图40

旋转	开始 (1)	0		2							n						n+1							
转速 (RPM)	5	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
AI 扇区位置	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
AI 0 扇区	1						2						n			p								
气体供给	AB 开始 (ALO 开始)																A						B	
扇区1	A1	P	B1	B1	B1	P	A2	P	B2	B2	B2		A	P	B	B	B		P	P	B	B	P	P
扇区2	P	A1	P	B1	B1	B1	P	A2	P	B2	B2		P	A	P	B	B	B		P	P	P	B	B
扇区3	B0	P	A1	P	B1	B1	B1	P	A2	P	B2		B	P	A	P	B	B	B		P	P	P	B
扇区4	B0	B0	P	A1	P	B1	B1	B1	P	A2	P		B	B	P	A	P	B	B	B		P	P	P
扇区5	B0	B0	B0	P	A1	P	B1	B1	B1	P	A2		B	B	B	P	A	P	B	B	B		P	P
扇区6	P	B0	B0	B0	P	A1	P	B1	B1	B1	P		P	B	B	B	P	A	P	B	B	B		P

图41

旋转	开始 (1)	0		2							n						n+1							
转速 (RPM)	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
AI 扇区位置	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
AI 0 扇区	1						2										n							
气体供给	AB 开始 (ALO 开始)																A						B	
扇区1	A1	P	B1	B1	B1	P	A2	P	B2	B2	B2		A	P	B	B	B		P	P	B	B	P	P
扇区2	P	A1	P	B1	B1	B1	P	A2	P	B2	B2		P	A	P	B	B	B		P	P	P	B	B
扇区3	B0	P	A1	P	B1	B1	B1	P	A2	P	B2		B	P	A	P	B	B	B		P	P	P	B
扇区4	B0	B0	P	A1	P	B1	B1	B1	P	A2	P		B	B	P	A	P	B	B	B		P	P	P
扇区5	B0	B0	B0	P	A1	P	B1	B1	B1	P	A2		B	B	B	P	A	P	B	B	B		P	P
扇区6	P	B0	B0	B0	P	A1	P	B1	B1	B1	P		P	B	B	B	P	A	P	B	B	B		P

图42

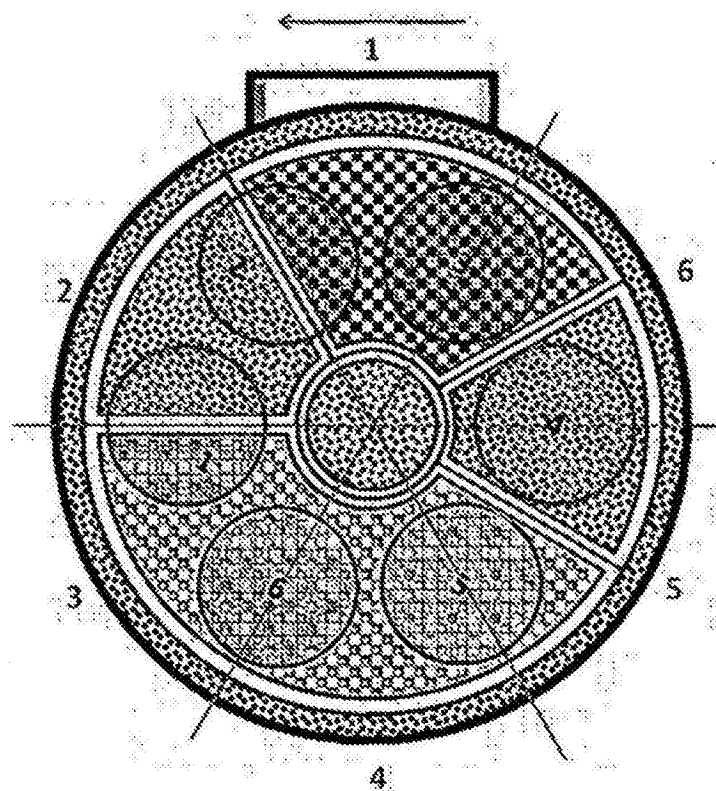


图43

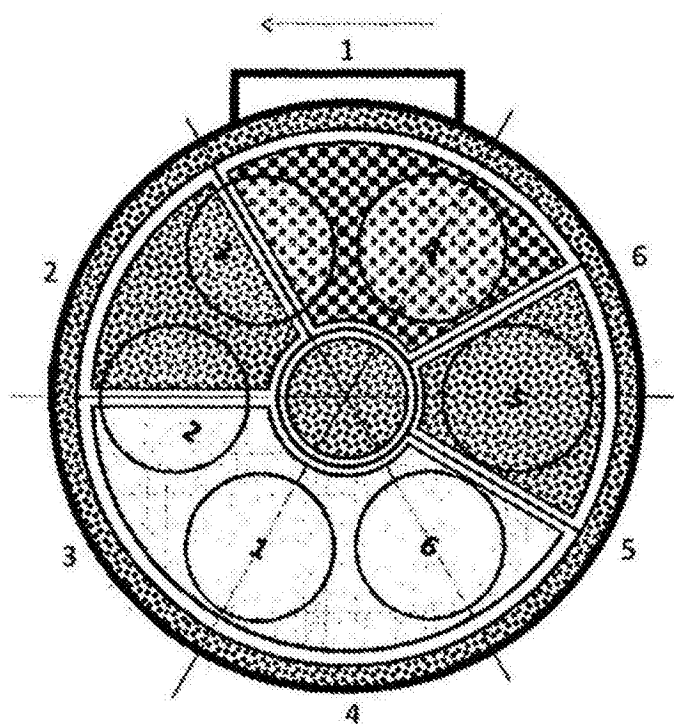


图44

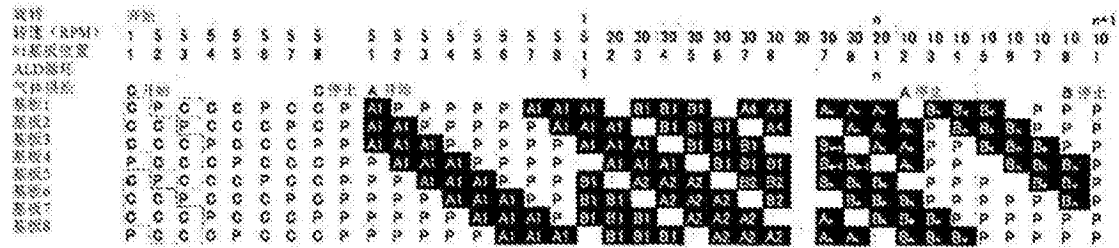


图45

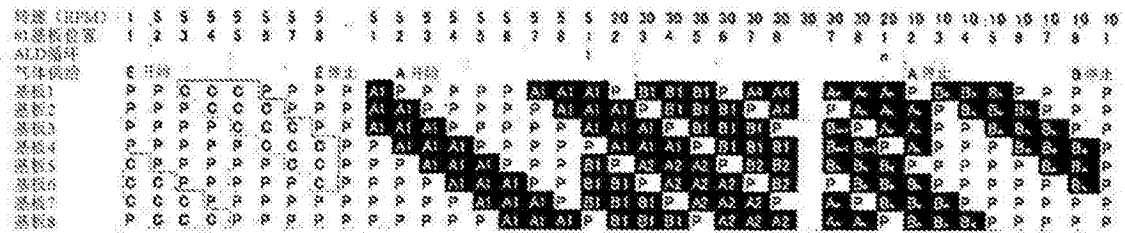


图46

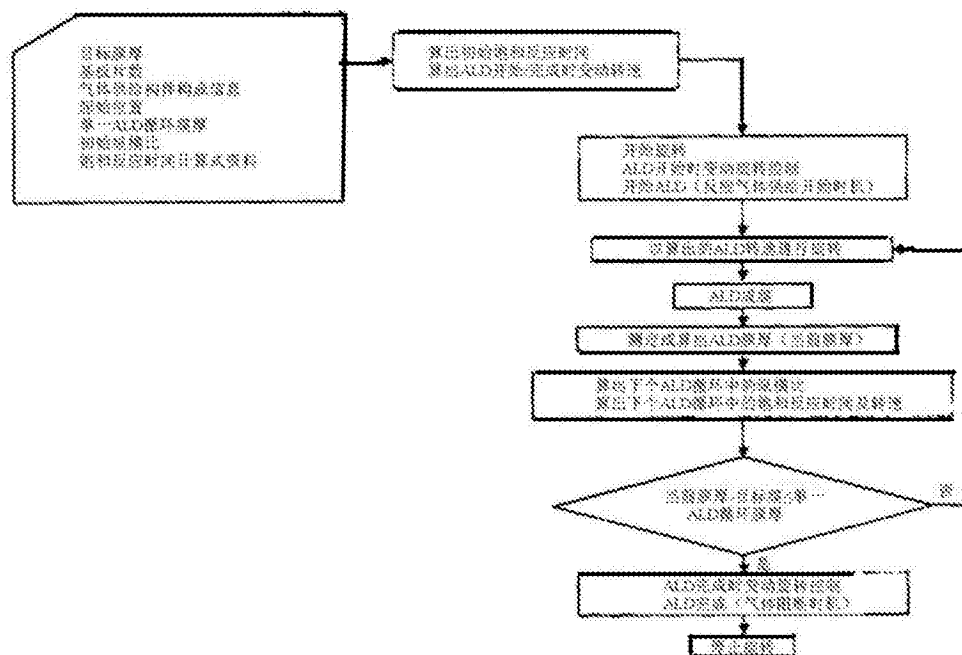


图47

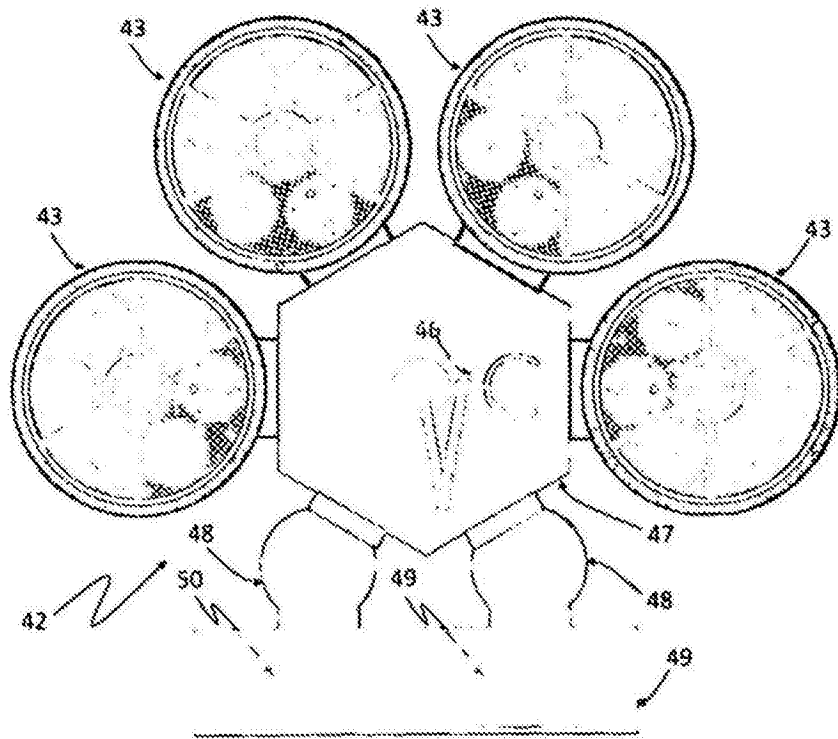


图48

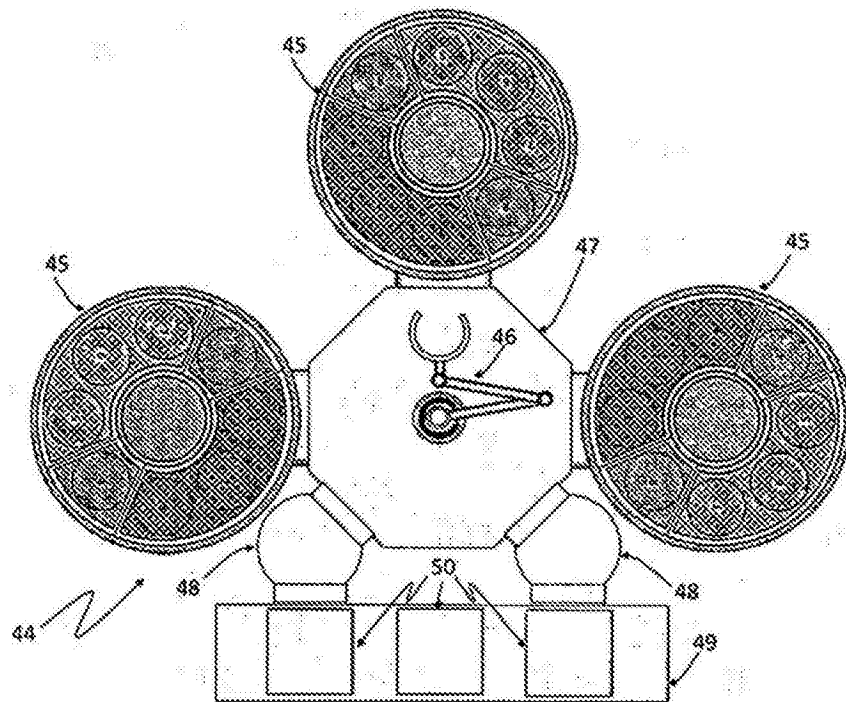


图49