



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115584490 A

(43) 申请公布日 2023. 01. 10

(21) 申请号 202211279875.0

(22) 申请日 2017.06.19

(30) 优先权数据

15/186,275 2016.06.17 US

(62) 分案原申请数据

201710462095.2 2017.06.19

(71) 申请人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 伊时塔克·卡里姆

阿德里安·拉瓦伊

(74) 专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

专利代理师 樊英如 张华

(51) Int. Cl.

G23C 16/455 (2006.01)

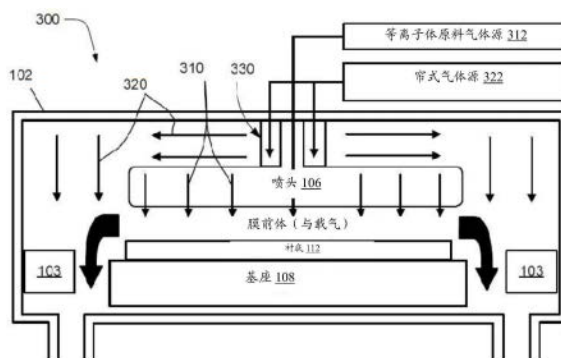
权利要求书3页 说明书28页 附图13页

## (54) 发明名称

用于膜轮廓调节的喷头帘式气体方法和系统

## (57) 摘要

本发明涉及用于膜轮廓调节的喷头帘式气体方法和系统。公开了一种沉积膜的方法和系统。所述方法可以包括：(a) 确定用于在所述室内进行膜沉积的工艺条件，所述工艺条件包括在所述室内围绕每个站的周边流动的帘式气体的流动条件，(b) 根据 (a) 中确定的所述工艺条件，在膜沉积期间，使所述帘式气体流到所述室内的每个站，(c) 在 (b) 期间或之后，确定所述室内的所述帘式气体的经调节的流动条件，以改善衬底的不均匀性；以及 (d) 在 (c) 之后，根据 (c) 中确定的所述经调节的流动条件，在膜沉积期间，使所述帘式气体流动。所述系统可以包括气体输送系统、处理室以及具有用于执行 (a) - (d) 中的一项或多项的控制逻辑的控制器。



1. 一种在多站式半导体处理室内沉积膜的方法,所述方法包括:

(a) 在将材料沉积在衬底上的循环沉积工艺的第一组一个或多个沉积循环期间,将帘式气体流至处理室内多个站的至少一个站;

(b) 将所述帘式气体的流动条件调整为可改善沉积在所述衬底上的所述材料的均匀性的经调节的流动条件;和

(c) 在 (b) 之后,根据 (b) 的所述经调节的流动条件,在所述循环沉积工艺的第二组一个或多个沉积循环期间流动所述帘式气体,从而提高沉积在所述衬底上的所述材料的均匀性。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述帘式气体的所述流动条件是所述帘式气体的流率和/或所述帘式气体的组成,其中,所述帘式气体的所述经调节的流动条件是所述帘式气体的经调节的流率和/或者所述帘式气体的经调节的组成。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中调整所述流动条件包括向所述帘式气体中加入一种或多种组分,或从帘式气体体中减去一种或多种组分。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述循环沉积工艺是原子层沉积工艺。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述帘式气体包含分子氧。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述经调节的流动条件是所述帘式气体的经调节的组成,其包含所述帘式气体中的经调节的氧气浓度。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中:

所述多站式半导体处理室包括吊灯型喷头和围绕所述吊灯型喷头的杆部的喷头套环,以及

所述帘式气体通过所述喷头套环流入所述处理室。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中:

所述帘式气体包括氧气和选自氩气和氮气组成的组的第二组分的混合物,以及所述帘式气体的所述经调节的流动条件包括所述帘式气体的经调节的组成。

9. 根据权利要求1所述的方法,其中:

(a) 中的所述帘式气体是单组分气体,并且

所述经调节的流动条件是包括所述单组分气体的所述帘式气体的经调节的组成。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中:所述单组分气体为氧气,并且

所述帘式气体的所述经调节的组成还包括下列的一种或多种:氩气和氮气。

11. 根据权利要求9所述的方法,其中所述单组分气体为氧气、氩气或氮气。

12. 根据权利要求1所述的方法,其中:

(a) 中的所述帘式气体是包含单组分气体的气体混合物,并且

(c) 中的所述帘式气体为单组分气体。

13. 根据权利要求12所述的方法,其中所述单组分气体为氧气、氩气或氮气。

14. 根据权利要求12所述的方法,其中所述单组分气体为氧气。

15. 一种用于在多站式半导体处理工具内执行膜沉积的系统,该系统包括:气体输送系统;

处理室,其包括至少两个站,其中:

每个站共享所述气体输送系统,并且

所述处理室被配置为使帘式气体围绕每个站的周边流动;以及

控制器,其用于控制所述系统以在分离的站内处理的至少两个衬底上沉积材料,所述控制器包括用于下述操作的控制逻辑:

(a) 在将材料沉积在衬底上的循环沉积工艺的第一组一个或多个沉积循环期间,将所述帘式气体流至所述处理室内多个站的至少一个站;

(b) 将所述帘式气体的流动条件调整为可改善沉积在所述衬底上的所述材料的均匀性的经调节的流动条件;和

(c) 在(b)之后,根据(b)的所述经调节的流动条件,在所述循环沉积工艺的第二组一个或多个沉积循环期间流动所述帘式气体,从而提高沉积在所述衬底上的所述材料的均匀性。

16. 根据权利要求15所述的系统,其中调整所述帘式气体的所述流动条件包括所述帘式气体的经调节的组成。

17. 根据权利要求16所述的系统,其中所述帘式气体的所述经调节的组成包括所述帘式气体中的经调节的氧气浓度。

18. 根据权利要求16所述的系统,其中:

(a) 中的所述帘式气体是单组分气体,并且

所述帘式气体的所述经调节的组成包括所述单组分气体。

19. 根据权利要求18所述的系统,其中:

所述单组分气体为氧气,并且

所述帘式气体的所述经调节的组成还包括下列的一种或多种:氩气和氮气。

20. 根据权利要求18所述的系统,其中所述单组分气体为氧气、氩气或氮气。

21. 根据权利要求15所述的系统,其中,所述帘式气体的所述流动条件是所述帘式气体的流率和/或所述帘式气体的组成,并且其中,所述帘式气体的所述经调节的流动条件是所述帘式气体的经调节的流率和/或者所述帘式气体的经调节的组成。

22. 根据权利要求21所述的系统,其中用于将所述帘式气体的所述流动条件调整为经调节的流动条件的所述控制逻辑包括用于向所述帘式气体加入一种或多种组分或从所述帘式气体中减去一种或更种组分的控制逻辑。

23. 根据权利要求15所述的系统,其中所述控制器还包括用于在循环沉积工艺中重复(a)、(b)和(c)的控制逻辑。

24. 根据权利要求15所述的系统,其中所述循环沉积工艺是原子层沉积工艺。

25. 根据权利要求15所述的系统,其中所述帘式气体包含分子氧。

26. 根据权利要求15所述的系统,还包括:

吊灯型喷头,其用于将气体流入所述处理室,和

围绕所述吊灯型喷头的杆部的喷头套环,其中所述帘式气体通过所述喷头套环流入所述处理室。

27. 根据权利要求17所述的系统,其中所述控制器还包括用于执行如下操作的控制逻辑:

(d) 将所述帘式气体的第二流动条件调整为改善衬底不均匀性的第二经调节的流动条件;以及

(e) 在 (d) 之后, 根据 (d) 的所述第二经调节的流动条件, 在所述循环沉积工艺的第三组一个或多个沉积循环中流动所述帘式气体, 从而改善衬底不均匀性。

28. 根据权利要求15所述的系统, 其中:

(a) 中的所述帘式气体是包含单组分气体的气体混合物, 并且

(c) 中的所述帘式气体为单组分气体。

29. 根据权利要求28所述的系统, 其中所述单组分气体为氧气、氩气或氮气。

30. 根据权利要求28所述的系统, 其中所述单组分气体为氧气。

## 用于膜轮廓调节的喷头帘式气体方法和系统

本申请是申请号为201710462095.2、申请日为2017年6月19日、发明名称为“用于膜轮廓调节的喷头帘式气体方法和系统”的发明专利申请的分案申请。

### 技术领域

[0001] 本发明总体上涉及半导体处理领域,更具体地涉及用于膜轮廓调节的喷头帘式气体 (curtain gas) 方法和系统。

### 背景技术

[0002] 在半导体行业中,随着集成电路 (IC) 器件和衬底特征尺寸不断缩小,以及在IC设计 (例如,英特尔的三栅晶体管架构) 中3D器件结构的使用的增加,薄的保形膜 (相对于下伏结构的形状具有均匀厚度的材料膜,即使是非平面的也如此) 的沉积能力将继续受到重视。原子层沉积 (ALD) 是一种成膜技术,其非常适合沉积保形膜,这是因为ALD的单个循环仅沉积单个薄的材料层,而这又是由于ALD工艺涉及在形成一种或多种膜前体反应物的吸附受限层之后才进行前体的成膜表面反应导致的。然后可以使用多个“ALD循环”来建立所需厚度的膜,并且由于每个层都是薄的并且是保形的,因此,所得到的膜基本上符合下面的衬底特征和/或器件结构的形状。

[0003] 然而,在半导体制造中采用ALD工艺有许多挑战,通常涉及需要许多ALD循环来构建有明显厚度的膜这一事实。通过专门的半导体处理硬件可以促进快速的ALD循环时间,然而,在没有仔细设计这些沉积设备和在其中执行的成膜操作的情况下,则可能危及所得的ALD膜的均匀性。因此,要寻求改善所沉积的膜的均匀性的方法、系统和装置。

### 发明内容

[0004] 在一实施方式中,可以提供一种在多站式半导体处理室内沉积膜的方法。所述方法可以包括: (a) 确定用于在所述室内进行膜沉积的工艺条件,所述工艺条件包括在所述室内围绕每个站的周边流动的帘式气体的流动条件; (b) 根据 (a) 中确定的所述工艺条件,在膜沉积期间,使所述帘式气体流到所述室内的每个站; (c) 在 (b) 期间或之后,确定所述室内的所述帘式气体的经调节的流动条件,以改善衬底的不均匀性; 以及 (d) 在 (c) 之后,根据 (c) 中确定的所述经调节的流动条件,在膜沉积期间,使所述帘式气体流动。

[0005] 在一些实施方式中,所述帘式气体的所述流动条件可以是所述帘式气体的流率,并且所述帘式气体的所述经调节的流动条件可以是所述帘式气体的经调节的流率。

[0006] 在一些实施方式中,可以在 (d) 期间,使所述帘式气体以基本上恒定的流率流动。

[0007] 在一些进一步的其他实施方式中,可以在 (d) 期间,使所述帘式气体以可变的流率流动。

[0008] 在一些实施方式中,所述帘式气体的所述流动条件可以是所述帘式气体的分压,并且所述帘式气体的所述经调节的流动条件可以是所述帘式气体的经调节的分压。

[0009] 在一些实施方式中,所述工艺条件可以包括所述室的压强,并且所述室内的所述

帘式气体的所述经调节的流动条件可以由所述室的经调节的压强导致。

[0010] 在一些实施方式中,所述工艺条件可以包括所述室的排空速率,并且所述室内的所述帘式气体的所述经调节的流动条件可以由所述室的经调节的所述排空速率导致。

[0011] 在一些实施方式中,所述帘式气体的流动条件可以是所述帘式气体的流率和所述帘式气体的分压,所述工艺条件可以包括所述室的压强和所述室的排空速率,并且所述室内的所述帘式气体的经调节的所述流动条件可以是以下项中的一种以上:所述帘式气体的经调节的流率、所述帘式气体的经调节的分压、由所述室的经调节的压强导致的流动条件以及由所述室的经调节的排空速率导致的流动条件。

[0012] 在一些实施方式中,(d)可以在所述膜沉积的阶段期间进行。

[0013] 在一些进一步的实施方式中,(d)可以在膜沉积的以下阶段中的一个或多个阶段期间进行:将每个站中的衬底暴露于材料的前体,从所述室除去所述前体中的至少一些,激活所述前体在每个衬底上的反应,以及在所述反应之后除去所述室内的气体中的至少一些气体。

[0014] 在一些实施方式中,(d)可以在所述膜沉积的所有阶段期间进行。

[0015] 在一些进一步的实施方式中,(d)可以在可以包括下述阶段的膜沉积的所有下述的阶段期间进行:将每个站中的衬底暴露于材料的前体,从所述室除去所述前体中的至少一些,激活所述前体在每个衬底上的反应,以及在所述反应之后除去所述室内的气体中的至少一些气体。

[0016] 在一些实施方式中,所述方法还可以包括在(c)之前识别由所述室内的站中的一个或多个站沉积的膜中的不均匀性,并且(c)的确定可以至少部分地基于所述识别。

[0017] 在一些实施方式中,与在(a)中流动的所述帘式气体的流动相比,在(c)中确定的所述帘式气体的所述经调节的流动条件可以包括所述帘式气体中的经调节的氧浓度。

[0018] 在一些进一步的实施方式中,在(c)中确定的所述帘式气体的所述经调节的流动条件可以包括纯分子氧。

[0019] 在一些实施方式中,所述帘式气体包括氧气和例如氩气或氮气之类的第二组分的混合物。

[0020] 在一实施方式中,可以提供一种用于在多站式半导体处理工具中进行膜沉积的系统。所述系统可以包括:气体输送系统;处理室,其包括至少两个站,其中每个站共享所述气体输送系统,并且所述处理室被配置为使帘式气体围绕每个站的周边流动。所述系统还可以包括:控制器,其用于控制所述系统以在分离的站内处理的至少两个衬底上沉积材料,所述控制器包括用于下述操作的控制逻辑:(a)根据用于在所述室内进行膜沉积的工艺条件,在膜沉积期间,使所述帘式气体流动到所述室内的每个站,所述工艺条件包括在所述室内围绕每个站的周边流动的帘式气体的流动条件,(b)在(a)期间或之后,确定在所述室内的所述帘式气体的经调节的流动条件,以改善衬底的不均匀性;以及(c)在(b)之后,根据在(b)中确定的所述经调节的流动条件,在膜沉积期间,使所述帘式气体流动。

[0021] 在一些实施方式中,所述帘式气体的所述流动条件可以是所述帘式气体的流率,并且其中所述帘式气体的所述经调节的流动条件可以是所述帘式气体的经调节的流率。

[0022] 在一些实施方式中,所述帘式气体的所述流动条件可以是所述帘式气体的分压,并且所述帘式气体的所述经调节的流动条件可以是所述帘式气体的经调节的分压。

[0023] 在一些实施方式中,所述工艺条件可以包括所述室的压强,并且所述室内的所述帘式气体的所述经调节的流动条件可以由所述室的经调节的压强导致。

[0024] 在一些实施方式中,所述工艺条件可以包括所述室的排空速率,并且所述室内的所述帘式气体的所述经调节的流动条件可以由所述室的经调节的所述排空速率导致。

[0025] 在一些实施方式中,所述控制器还可以包括用于下述操作的控制逻辑:(d)将每个站中的衬底暴露于材料的前体;(e)从所述室除去所述前体中的至少一些;(f)激活所述前体在每个衬底上的反应;以及(g)在所述反应之后,除去所述室内的所述气体中的至少一些气体,并且其中(c)在(d)至(g)中的一个或多个期间执行。

[0026] 在一些实施方式中,所述控制器还可以包括用于以下操作的控制逻辑:(h)确定用于在所述室内进行膜沉积的工艺条件,所述工艺条件包括所述帘式气体的流动条件。

[0027] 在一些实施方式中,所述系统还可以包括:在所述处理室内的衬底保持器;和喷头,其用于使气体流入所述处理室内。所述处理室可以被进一步配置为使所述帘式气体从处理室主体、所述衬底保持器或所述喷头流动。

[0028] 具体而言,本发明的一些方面可以阐述如下:

1.一种在多站式半导体处理室内沉积膜的方法,所述方法包括:

(a)确定用于在所述室内进行膜沉积的工艺条件,所述工艺条件包括在所述室内围绕每个站的周边流动的帘式气体的流动条件;

(b)根据(a)中确定的所述工艺条件,在膜沉积期间,使所述帘式气体流到所述室内的每个站;

(c)在(b)期间或之后,确定衬底的不均匀性;

(d)基于所述衬底的不均匀性,确定所述室内的所述帘式气体的经调节的流动条件,以改善所述衬底的不均匀性;以及

(e)在(d)之后,根据(d)中确定的所述经调节的流动条件,在膜沉积期间,使所述帘式气体流动。

2.根据条款1所述的方法,其中,所述帘式气体的所述流动条件是所述帘式气体的流率,并且其中所述帘式气体的所述经调节的流动条件为所述帘式气体的经调节的流率。

3.根据条款2所述的方法,其中在(e)期间,使所述帘式气体以基本上恒定的流率流动。

4.根据条款2所述的方法,其中在(e)期间,使所述帘式气体以可变的流率流动。

5.根据条款1所述的方法,其中,所述帘式气体的所述流动条件是所述帘式气体的分压,并且其中所述帘式气体的所述经调节的流动条件是所述帘式气体的经调节的分压。

6.根据条款1所述的方法,其中所述工艺条件包括所述室的压强,并且其中所述室内的所述帘式气体的所述经调节的流动条件由所述室的经调节的压强导致。

7.根据条款1所述的方法,其中所述工艺条件包括所述室的排空速率,并且其中所述室内的所述帘式气体的所述经调节的流动条件由所述室的经调节的排空速率导致。

8.根据条款1所述的方法,其中:

所述帘式气体的流动条件是所述帘式气体的流率和所述帘式气体的分压,

所述工艺条件包括所述室的压强和所述室的排空速率,并且

所述室内的所述帘式气体的经调节的所述流动条件是以下项中的一种以上:所述

帘式气体的经调节的流率、所述帘式气体的经调节的分压、由所述室的经调节的压强导致的流动条件以及由所述室的经调节的排空速率导致的流动条件。

9. 根据条款1至8中任一项所述的方法, 其中 (e) 在所述膜沉积的阶段期间进行。

10. 根据条款9所述的方法, 其中 (e) 在膜沉积的以下阶段中的一个或多个阶段期间进行: 将每个站中的衬底暴露于材料的前体, 从所述室除去所述前体中的至少一些, 激活所述前体在每个衬底上的反应, 以及在所述反应之后除去所述室内的气体中的至少一些。

11. 根据条款1至8中任一项所述的方法, 其中 (e) 在所述膜沉积的所有阶段期间进行。

12. 根据条款11所述的方法, 其中 (e) 在膜沉积的所有下述的阶段期间进行: 将每个站中的衬底暴露于材料的前体, 从所述室除去所述前体中的至少一些, 激活所述前体在每个衬底上的反应, 以及在所述反应之后除去所述室内的气体中的至少一些。

13. 根据条款1至8中任一项所述的方法, 其中所述帘式气体包括纯分子氧。

14. 根据条款1至8中任一项所述的方法, 其中, 与在 (a) 中流动的所述帘式气体的流动相比, 在 (d) 中确定的所述帘式气体的所述经调节的流动条件包括所述帘式气体中的经调节的氧浓度。

15. 根据条款14所述的方法, 其中在 (d) 中确定的所述帘式气体的所述经调节的流动条件包括纯分子氧。

16. 根据条款1至8中任一项所述的方法, 其中所述帘式气体包括氧气和选自氩气与氮气组成的群组中的第二组分的混合物。

17. 一种用于在多站式半导体处理工具中进行膜沉积的系统, 所述系统包括:  
气体输送系统;

处理室, 其包括至少两个站, 其中:

每个站共享所述气体输送系统, 并且

所述处理室被配置为使帘式气体围绕每个站的周边流动; 以及

控制器, 其用于控制所述系统以在分离的站内处理的至少两个衬底上沉积材料, 所述控制器包括用于下述操作的控制逻辑:

(a) 根据用于在所述室内进行膜沉积的工艺条件, 在膜沉积期间, 使所述帘式气体流动到所述室内的每个站, 所述工艺条件包括在所述室内围绕每个站的周边流动的帘式气体的流动条件,

(b) 在 (a) 期间或之后, 确定衬底的不均匀性;

(c) 基于所述衬底的不均匀性, 确定在所述室内的所述帘式气体的经调节的流动条件, 以改善衬底的不均匀性; 以及

(d) 在 (c) 之后, 根据在 (c) 中确定的所述经调节的流动条件, 在膜沉积期间, 使所述帘式气体流动。

18. 根据条款17所述的系统, 其中, 所述帘式气体的所述流动条件是所述帘式气体的流率, 并且其中所述帘式气体的所述经调节的流动条件为所述帘式气体的经调节的流率。

19. 根据条款17所述的系统, 其中, 所述帘式气体的所述流动条件是所述帘式气体的分压, 并且其中所述帘式气体的所述经调节的流动条件是所述帘式气体的经调节的分



压。

20. 根据条款17所述的系统,其中所述工艺条件包括所述室的压强,并且其中所述室内的所述帘式气体的所述经调节的流动条件由所述室的经调节的压强导致。

21. 根据条款17所述的系统,其中所述工艺条件包括所述室的排空速率,并且其中所述室内的所述帘式气体的所述经调节的流动条件由所述室的经调节的排空速率导致。

22. 根据条款17-21中任一项所述的系统,其中所述控制器还包括用于下述操作的控制逻辑:

(e) 将每个站中的衬底暴露于材料的前体;

(f) 从所述室除去所述前体中的至少一些;

(g) 激活所述前体在每个衬底上的反应;和

(h) 在所述反应之后,除去所述室内的气体中的至少一些,并且其中 (d) 在 (e) 至 (h) 中的一个或多个期间执行。

23. 根据条款17-21中任一项所述的系统,其中所述控制器还包括用于以下操作的控制逻辑: (i) 确定用于在所述室内进行膜沉积的工艺条件,所述工艺条件包括所述帘式气体的流动条件。

24. 根据条款17-21中任一项所述的系统,其还包括:

在所述处理室内的衬底保持器;和

喷头,其用于使气体流入所述处理室内;其中:

所述处理室被进一步配置为使所述帘式气体从选自处理室主体、所述衬底保持器和所述喷头中的部件流动。

## 附图说明

[0029] 图1描绘了具有带有单个处理站的处理室的衬底处理装置的横截面示意图。

[0030] 图2描绘了用于在一个或多个多站式半导体处理工具中执行膜沉积的系统的示意图,其包括四站式衬底处理工具、用于从两个处理站装载和卸载衬底的衬底搬运机械手以及用于操作工具的控制装置。

[0031] 图3描绘了具有喷头和喷头套环的单站式衬底处理装置的处理室的横截面示意图,其具有主清扫气流路和次清扫气流路。

[0032] 图4描绘了衬底处理工具的双站式处理室的横截面示意图,每个站具有衬底保持器,吊灯型喷头和相关联的喷头套环。

[0033] 图5描绘了使用两种不同帘式气体流的两个衬底的测得的厚度的曲线图。

[0034] 图6描绘了衬底处理室内的喷头和喷头套环的更详细的横截面图,其还描绘了主清扫流路和次清扫流路。

[0035] 图7描绘了喷头套环的示例的透视图。

[0036] 图8描绘了图7的喷头套环的示例性流体连接器的透视图。

[0037] 图9A和9B是图6的喷头的示例板的顶视图和底视图。

[0038] 图10描绘了示例性衬底的俯视图,其示出了不同的处理表面区域(径向限定的),局部工艺条件会在这些区域之间变化。

[0039] 图11描绘了用于在多站式半导体处理室和/或处理工具中进行膜沉积的第一示例

性技术的流程图。

[0040] 图12描绘了一示例性处理室,其包括被配置为将帘式气体释放到处理室内的喷头。

[0041] 图13描绘了第二示例性处理室,其被配置为将帘式气体释放到处理室内。

[0042] 图14描绘了第三示例性处理室,其包括被配置为将帘式气体释放到处理室内的基座。

### 具体实施方式

[0043] 在下面的描述中,阐述了许多具体细节,以便提供对所呈现的构思的透彻理解。所呈现的构思可以在没有这些具体细节中的一些或全部的情况下实践。在其他情况下,未详细描述公知的处理操作,以免不必要地模糊所述构思。虽然将结合具体实现方式来描述一些构思,但是应当理解,这些实现方式不是意图进行限制的。

[0044] 这里描述和示出了许多构思和实现方式。虽然已经描述和说明了本文讨论的实现方式的某些特征、属性和优点,但是应当理解,本发明的许多其他实现方式以及不同的和/或相似的实现方式、特征、属性和优点根据描述和图解是显而易见的。因此,下面的实现方式仅仅是本公开的一些可能的示例。它们并不旨在是穷尽性的或将公开内容限制为所公开的精确形式、技术、材料和/或配置。根据本公开,许多修改和变化是可能的。应当理解,在不脱离本公开的范围的情况下,可以利用其他实现方式并且可以进行操作改变。因此,本公开的范围不仅仅限于下面的描述,因为为了说明和描述的目的已经呈现了上述实现方式的描述。

[0045] 重要的是,本公开不限于任何单个方面或实现方式,也不限于这些方面和/或实现方式的任何单一组合和/或排列。此外,本公开的每个方面和/或其实现方式可以单独使用或与其他方面和/或其实现方式中的一个或多个组合使用。为了简洁起见,这些排列和组合中的许多种不会在本文中单独讨论和/或说明。

[0046] 本文公开了用于在多站式半导体衬底处理室内进行膜沉积的方法、系统和装置。一些半导体工艺用于将一层或多层材料沉积到诸如晶片之类的衬底上。当在本文中使用时,“晶片”通常可被解释为包括其他形式的“衬底”,例如大型显示器衬底。这种沉积方法的实例包括化学气相沉积(“CVD”)、等离子体增强CVD(“PECVD”)、原子层沉积(“ALD”)、低压CVD、超高CVD、物理气相沉积(“PVD”)和共形膜沉积(“CFD”)。

[0047] 例如,一些CVD工艺可以通过使一种或多种气体反应物流入形成膜前体和副产物的反应器中而将膜沉积在衬底表面上。前体被运送到晶片表面,在晶片表面上它们被晶片吸附,扩散到晶片上,并通过化学反应沉积在晶片上,化学反应也产生从表面和反应器中去除的副产物。

[0048] 对于另一个实例,一些沉积工艺涉及多个膜沉积循环,每个循环产生“不连续的”(“discrete”)膜厚度。ALD是一种这样的膜沉积方法,但是可以将放置薄层膜并以重复顺序事件使用的任何技术视为涉及多个沉积循环。

[0049] 如下面进一步详细描述,用于在处理室中的衬底上沉积单个材料层的基本的ALD循环可以包括:(i)将膜前体吸附在衬底上,使得其形成吸附受限层或者部分吸附受限层(例如,投配),(ii)从保持衬底的处理站附近除去(至少一些,当存在时)未吸附的(包括

解吸的)膜前体(例如清扫),以及(iii)在除去未吸附的膜前体之后,(例如通过点燃所述处理站附近的等离子体)使吸附的膜前体反应以在所述衬底上形成膜层(例如,反应)。(将“未吸附的”膜前体,如本发明所使用的,定义为包括解吸的膜前体。)在一些实现方式中,ALD方法不采用真正的“吸附受限的”投配操作。投配阶段可以在达到吸附极限(表面饱和)之前完成。通常,ALD循环另外涉及操作(iv):在吸附的膜前体反应之后,从处理站附近除去解吸的膜前体和/或膜前体反应副产物,所述处理站保持沉积在其上面的衬底(例如,清扫)。操作(ii)和(iv)中的除去可以通过清扫衬底附近、通过抽排至基本压强(“抽排至基压”)而排空、等等进行。

[0050] 在操作(iii)中用于激活表面反应的等离子体通常由等离子体原料气体支持,该等离子体原料气体例如可以通过一个或多个喷头(下面更详细地描述)流入反应室。在一些实施方式中,等离子体原料气体可用于清扫室以实现在操作(ii)和(iv)中的除去。

#### 膜沉积装置概述

[0051] 在诸如图1中所示的衬底处理装置中,通常可以执行用于在半导体衬底上沉积膜的操作。将在下面更详细描述的图1的装置100有单个处理室102,处理室102具有位于内部体积内的单个衬底保持器108,该内部体积可通过真空泵118被保持在真空条件下。气体输送系统101和喷头106也流体耦合到室以输送(例如)膜前体、载体和/或清扫和/或工艺气体、次级反应物等。用于在处理室中产生等离子体的设备也显示于图1并将在下面进一步详细地描述。在任何情况下,如在下面详细地描述的,在图1中示意性地显示的装置提供了用于在半导体衬底上执行诸如ALD之类的膜沉积操作的基本设备。

[0052] 虽然在某些情况下,像图1那样的衬底处理装置可能是足够的,但是当涉及费时的膜沉积操作时,通过同时在多个半导体衬底上并行地进行多个沉积操作以提高衬底处理吞吐量,这可能是有利的。基于这样的目的,如图2所示意性示出的那样,可以采用多站式衬底处理装置。图2的衬底处理装置200仍采用单个衬底处理室214,然而,在由处理室的壁所限定的单个内部体积内,是多个衬底处理站,每一个衬底处理站可以用于在被保持在该处理站的晶片保持器中的衬底上执行处理操作。在该特定实施方式中,多站式衬底处理装置200被显示为具有4个处理站201、202、203和204。所述装置还采用衬底加载设备(在这种情况下为衬底搬运机械手226)以在处理站201和202加载衬底,以及衬底传送设备(在这种情况下为衬底转盘290)以在各处理站201、202、203和204之间传送衬底。其他类似的多站式处理装置可具有较多或较少的处理站,具体取决于实施方式以及例如并行晶片处理的期望程度、尺寸/空间的限制、成本限制等。如图2所示,将在下面更详细地描述的是控制器250,其也有助于执行诸如在例如原子层沉积(ALD)操作中有效的衬底沉积操作这一目标。

[0053] 注意,就设备成本和运营费用这两方面而言,通过使用如图2中所显示的那样的多站式处理装置可以实现多种效能。例如,单个真空泵(未在图2中示出,而是例如图1中的118)可以被用来为所有的4个处理站创建单个高真空环境,并且其也可以用来排空例如所有4个处理站中的已用过的工艺气体。根据实施方式的不同,每一个处理站通常具有其自身的用于气体输送的专用喷头(参见,例如,图1中的106),但共享相同的气体输送系统(例如,图1中的101)。同样,等离子体发生器设备的某些元件可在处理站之间被共用(例如,电源),但是根据实施方式的不同,某些方面可以是处理站专用的(例如,如果喷头用于施加生成等离子体的电位,参见以下图1的讨论)。然而,再次,应当理解的是,这样的效能还可以通过每

个处理室使用更多或更少数量的处理站(例如每个反应室使用2个、3个、5个、6个、7个、8个、9个、10个、11个、12个、13个、14个、15个或16个、或更多的处理站)而在较大或较小的程度上实现。

实施和应用帘式气体以在体积上分离处理站、减少杂散室壁膜沉积和减少寄生等离子体产生

[0054] 尽管使用具有多个处理站的较大处理室可以提供上述益处,但是存在通常与使用较小的单站式处理室相关联的某些优点。其中之一是室体积的快速循环,从而能够快速引入和除去反应物、反应副产物等。这种快速循环在ALD工艺中可能是特别重要的,其中需要许多沉积循环以便沉积厚度可观的膜,因此耗时的循环室体积可能是相当大的。

[0055] 因此,期望将与大容量多处理站室相关联的高等离子体功率(和其他益处)和与较小的单个处理站室相关联的快速体积循环时间相结合。这样做的一种方法是通过以下方式在大型的多处理室内“模拟”较小的室体积:使气体帘在各个处理站之间流动,从而在膜沉积操作期间在体积上使不同的处理站隔离。

[0056] 例如,在一系列的ALD循环期间,这种“帘式气体”可以在处理站之间流动,以防止反应物、等离子体原料气体等的相互混合,同时不会不利地影响在每个处理站发生的反应性膜沉积工艺。虽然这可以“模拟”用于反应物流动和副产物清扫的目的的较小体积,但是相对于高等离子体功率和某些部件成本的缩放,较大室体积的优点保持完整。此外,除了前述益处之外,处理站通过帘式气体流的体积隔离可以允许构成将在处理站之间交错的ALD循环的操作序列。例如,与这种交错的ALD循环相关的各种优点在提交于2013年12月18日的名称为“SEQUENTIAL PRECURSOR DOSING IN AN ALD MULTI-STATION/BATCH REACTOR”的美国专利申请No.14/133,246(代理人案卷号LAMRP059US),现在的美国专利No.8,940,646中有详细描述,在此出于所有目的通过引用将其整体并入本发明。

[0057] 然而,应注意,为了实现前述益处,不一定需要各种处理站通过帘式气体流完全彼此在体积上隔离这样的情况。一般来说,人们会期望情况不是这样。因此,在本公开的上下文中,通过帘式气体流将一个处理站与另一个处理站“体积上隔离”应被解释为意指处理站之间的帘式气体流起作用以显著减少处理站之间的气体混合,如果没有使用这种帘式气体,则这种气体混合会发生。这与在每个处理站保留在其自己的单独处理室中时将存在的“完全”或“完美”的体积隔离形成对比;用帘式气体进行的体积分离并不暗示也不需要这种完美/完全的分/隔离。

[0058] 在基于等离子体的ALD操作中,帘式气体可以被看作与等离子体原料气体不同,等离子体原料气体用于支持在ALD操作(iii)(参见上文)中被点燃以激活引起膜沉积的反应的等离子体。注意,在一些实施方式中,等离子体原料气体也在适当时用作从不同处理站的附近除去未吸附的膜前体(反应物)的清扫气体。因此,尽管在所有ALD循环操作(例如上文的操作(i)-(iv))期间帘式气体可以(并且通常将)连续地流入处理站,但是等离子体原料气体通常仅在等离子体激活(和清扫操作,如果也用作清扫气体的话)期间当它们在特定的处理站执行时流动到处理室,并且更具体地,流动到处理站。

[0059] 还应注意,根据实施方式的不同,进入处理室的帘式气体的流率可以不同于进入处理室的等离子体原料气体的流率。在一些实施方式中,等离子体原料气体可以在每个站处以每站约5至50标准升/分钟(SLM)的速率流入处理室,或者更特别地,以每站约10至

35SLM的速率流入处理室,或更特别地以每站约15到20SLM的速率流入处理室。在一些实施方式中,帘式气体可以以每站约3至60SLM的速率流入到处理室内,或者更特别地,以每站约10至50SLM的速率流入到处理室内,或者更特别地,以每站约15至40SLM的速率流入到处理室内,或更特别地,以每站约20至30SLM的速率流入到处理室内。这种帘式气体流率降低(和/或防止)反应物和等离子体原料气体从处理站附近到处理室的偏远区域(例如喷头背面)的反向扩散。

[0060] 在一些实施方式中,多站式膜沉积装置可以采用吊灯型喷头,每个喷头与每个处理站相关联。这种吊灯型喷头通常可以包括头部和杆部,头部的底表面提供用于使膜前体(例如,用于在上述的ALD操作(i)的衬底表面吸附)、等离子体原料气体(例如,用于在上述的ALD操作(iii)的等离子体激活)和可能的不同清扫气体流入每个处理站附近的处理室的孔。喷头的杆部用于在处理室内的每个处理站上方支撑/悬挂头部,并且还提供用于使膜前体(和/或其他反应物)、等离子体原料气体等流动到头部内的孔的流体路径/连接。通常,可以看到,吊灯型喷头设计使得膜前体流相对于衬底表面能在空间上良好地均匀分布,并且相比于仅通过用作点流源的几个喷嘴将实现的分布得到了改进。

[0061] 此外,这种喷头还可以在产生(和维持)每个处理站处的用于激活(例如在上文的ALD操作(iii)中)成膜沉积反应的等离子体中起作用。特别地,在施加合适的电势时,每个吊灯型喷头可以用作产生等离子体的两个电极之一,另一个电极是衬底保持器(例如,基座),在两者之间施加电势。吊灯设计使得喷头能靠近衬底表面定位,由此使得能非常接近衬底有效地产生等离子体以及能够用于靠近衬底提供膜前体(反应物)的相对的空间上的均匀分布。此外,如上所述,如果等离子体原料气体也用作清扫气体,则将其引入衬底附近使得未吸附的膜前体和/或反应副产物能被充分和有效地清扫掉(例如在上文的ALD操作(ii)和(iv)中)。

[0062] 由于它们用于不同的目的,因此等离子体原料气体和帘式气体通常具有进入处理室内的不同入口点。当等离子体原料气体通过喷头(如刚才所描述的那样)的头部的底部表面中的孔进入室时,帘式气体可以从入口点被引入到处理室内,该入口点适于各种处理站提供体积隔离(以及潜在地提供其他优势)。例如,对于使用处理站特定的吊灯型喷头的实施方式,帘式气体可以从每个吊灯型喷头的头部的后面释放到处理室内,并且特别地,在一些实施方式中,帘式气体穿过围绕喷头的杆部的喷头套环中的孔引入。此外,在某些这样的实施方式中,帘式气体可以从这些孔沿着基本上平行于衬底的平面和/或头部的底表面的方向,并且因此通常最初沿与从喷头的头部的底表面释放的流垂直的方向流动。该帘式气体的这种流动可以横向地继续,直到帘式气体到达喷头的背侧的端部(喷头的头部的顶表面),在该点处帘式气体流可以向下转向,接着基本上平行于来自喷头的头部的等离子体原料气体和/或清扫气体的流动。

[0063] 如上所述,在多站式处理室内,帘式气体的这种流动模式可用于提供在处理站之间的体积分离;然而,即使在单个处理站实施方式的背景下,在从喷头的头部后面建立帘式气体流可能有随之而来的优点。为了说明这种流动模式,首先在单个处理站实施方式的较简单的背景中,图3描绘了具有处理室102、喷头106和喷头套环330的单站式衬底处理装置300的横截面示意图,并且其具有帘式气体流路320和等离子体原料气体(和反应物前体)流路310。在图3所示的与前述描述一致的结构中,来自等离子体原料气体源312的等离子体原

料气体通过喷头106的头部的底表面流入室102,而来自帘式气体源322的帘式气体通过围绕喷头106的杆部的喷头套环330中的孔流入室102。因此,这里的帘式气体(注意,即使在单个站的背景中仍然保持描述性短语“帘式气体”)在喷头106的后侧的中心轴线附近被引入到处理室102中,并且以基本上平行于保持在基座108上的衬底112的平面(并且基本上平行于喷头106的头部的底表面)的流被引入。如此引入的帘式气体然后行进到围绕喷头、围绕喷头和站的外周并且沿着室侧壁向下流动,之后,在横向板103附近离开室(如图3中的箭头示意性地示出的)。

[0064] 即使在单处理站的情况下,帘式气体直接流入喷头后面/上面的空间/腔也会是非常有益的,因为它可以最小化或防止在喷头背面和喷头后面/上方的室壁上等的不期望的沉积。同样地,帘式气体沿着侧壁向下的流动可以用于减少和/或防止在室102的内壁上的沉积。在一些示例中,帘式气体流入吊灯型喷头后面的腔内可以满足佩克莱特(Peclet)条件(通常是大于1的佩克莱特数),从而减小和/或防止膜前体从喷头的底表面向后扩散(或回流)到所述腔内。再次,即使在单个处理站的背景中,另一个益处就是,在引入膜前体之前建立帘式气体流(除了减少或防止在喷头背面和室壁上的潜在的杂散沉积外)还可以建立用于反应性膜沉积工艺的所期望的室压,从而避免用过量的昂贵的膜前体造成浪费地建立适当的室压。即,较高的室压用作膜前体的空气帘,因此增大衬底区域中的前体的分压,同时减小在其他地方的前体的分压。因此,即使在单个处理站实施方式中,来自喷头背面的帘式气体流减小了有效的室体积,同时减少了室侧壁和喷头背面的不希望有的沉积。

[0065] 如上所述,在多站式衬底处理室内,帘式气体可另外提供处理站之间的体积隔离。图4示意性地描绘了处理工具400的多站式处理室402内的一对处理站411和412(见图4中的虚线)。如图中通过指示气流方向的箭头所示的,除了图3所示的帘式气体流模式(在单个站的背景中)之外,在这里,帘式气体420还另外在处理站411和412之间流动,从而使它们彼此在体积上隔离。注意,该视图以横截面示出了成对的处理站,因此该视图可以表示2站式处理室实施方式,或者它可以表示4站式处理室实施方式的横截面视图,例如在图2中所示示意性示出的。在任何情况下,所示的成对的处理站中的每个处理站类似于图3所示的单个处理站,因此,伴随图3的说明(以及附图标记)在适当的情况下也适用于图4,一个区别在于,在图4中,存在成对的处理站411和412,并且该成对的处理站411和412通过帘式气体420的流动彼此在体积上隔离/分离。

[0066] 与使用帘式气体相关的某些益处尤其显示在ALD工艺操作中。例如,在ALD循环的一个或多个阶段/操作中,帘式气体可以在喷头背面连续地横向释放。因此,在某些ALD操作期间,例如在等离子体活化步骤(上述ALD操作(iii))期间,当等离子体原料气体仅从喷头流入,并且可能如果帘式气体在前体投配后的除去步骤(上述ALD操作(ii))期间用作清扫气体,则帘式气体可以连续流动,在整个ALD操作中将帘式气体引导到室的偏远区域。将帘式气体流引导到室的偏远区域(即不在紧邻衬底表面的区域)有助于从处理室除去多余的未吸附的膜前体,此外甚至可以有助于开始就防止膜前体流向室的这些偏远区域。再次,为了实现该后一目的,当膜前体流到室(并吸附在衬底上)时,帘式气体也将在ALD前体投配操作(上述ALD操作(i))期间主动地流动。同样,在等离子体激活(操作(iii))期间,使用帘式气体保护室的内表面,使其不发生任何杂散沉积,杂散沉积可能由于以下原因发生:在衬底表面发生的反应过程期间,前体从衬底表面解吸,然后再次吸附到其他地方(例如在室侧壁

上)并反应。

[0067] 应注意的是,适用于在多站式处理室内提供等离子体原料气体和帘式气体的合适的吊灯型喷头(大致类似于图3和图4所示出的)在下面参照图6-9B进行更详细的描述。在吊灯型喷头的头部的后面将气体引入处理室,以及相关装置的细节也都在于2012年10月24日提交的,名称为“SUPPRESSION OF PARASITIC DEPOSITION IN A SUBSTRATE PROCESSING SYSTEM BY SUPPRESSING PRECURSOR FLOW AND PLASMA OUTSIDE OF SUBSTRATE REGION”,以美国专利公开No.2013/0344245公布的现有的美国专利申请No.13/659231中有描述,其全部内容通过引用并入本文并用于所有目的。

[0068] 使用分子氧作为帘式气体也可能有一些优点,无论是单独作为帘式气体还是作为混合物的一部分都如此,如于2015年8月17日提交的、名称为“COMPOSITION-MATCHED CURTAIN GAS MIXTURES FOR EDGE UNIFORMITY MODULATION IN LARGE-VOLUME ALD REACTORS”的美国专利申请No.14/828,291中所描述的,其全部内容通过引用并入本文,并用于所有目的;以及如于2004年7月30日提交的、名称为“METHODS AND APPARATUSES FOR SHOWERHEAD BACKSIDE PARASITIC PLASMA SUPPRESSION IN A SECONDARY PURGE ENABLED ALD SYSTEM,”的美国专利申请No.14/447,203,其以美国专利公布No.2016/0035566公布,并通过引用整体并入本文且用于所有目的。

[0069] 虽然使用分子氧( $O_2$ )作为用于处理站隔离的帘式气体可以处理通常与使用具有低击穿电压的惰性气体(氩气(Ar)是一个示例)相关的产生寄生等离子体的问题,但可能存在其他问题,这些问题已被发现因为该选择而产生,这在上文提及的专利申请(美国专利申请No.14/828,291)中与这些问题的一些潜在解决方案一起讨论了。

[0070] 在一些其他实施方式中,帘式气体可以从处理室内的其他入口点(例如从基座、从喷头或处理室本身)释放到处理室内。例如,站中的基座沿着被配置为(例如,流体地连接到帘式气体源)将帘式气体释放到处理室内的周向边缘和/或侧壁可以包括孔和/或槽。在另一示例中,喷头沿着被配置将帘式气体释放到处理室内的喷头的周向边缘和/或表面(例如,周向侧面或顶部)还可以包括孔和/或槽。在又一示例中,处理室可以被配置为围绕每个站释放帘式气体。在一些这样的实施方式中,处理室可以包括喷嘴、孔、槽或流体连接到帘式气体源以便使这种帘式气体流过的其他开口,并且这样的开口可以被布置和放置在处理室内,以便适当地为各种处理站提供体积隔离。例如,室可以包括在每个处理站上布置成圆形图案的一系列孔或喷嘴,使得帘式气体可以流入处理室并且围绕每个处理站。

[0071] 图12描绘了一示例性处理室,其包括配置成将帘式气体释放到处理室内的喷头。可以看出,图12包括装置1200,装置1200具有处理室102和喷头1206以及图3中描述和包含的特征中的一些。喷头1206流体地连接到帘式气体源322,并被配置成使以虚线标识的帘式气体1220流入处理室。图12意在示出帘式气体从喷头1206流出的一般原理,因此,图12中所描绘的特征中的一些与图3中的那些相似和/或相同,并且为了说明的目的而省略了一些特征,例如喷头套环。帘式气体流可以从喷头的任何一个或多个部分排出,例如从周向侧壁、顶部或底部排出。

[0072] 类似地,图13描绘了被配置为将帘式气体释放到处理室内的第二示例处理室。图13包括装置1300,装置1300具有处理室主体1302以及图3中描述和包含的特征中的一些。处理室1302流体地连接到帘式气体源322,并且被配置为使以虚线标识的帘式气体1320流入

处理室内。图13意在示出帘式气体从处理室主体(例如处理室的顶部)流出的一般原理,因此,所描绘的一些特征与图3中的那些相似和/或相同,并且为了说明的目的而省略了一些特征,例如喷头套环。

[0073] 图14描绘了第三示例性处理室,其包括构造成将帘式气体释放到处理室内的基座。可以看出,图14包括装置1400,装置1400具有基座1408以及图3中描述和包含的特征中的一些。基座1408流体地连接到帘式气体源322,并被配置为使以虚线标识的帘式气体1420流入处理室内。图14意在示出帘式气体从基座1408(例如处理室的顶部)流出的一般原理,因此,所描绘的特征中的一些与图3中的那些相似和/或相同,并且为了说明的目的而省略了一些特征,例如喷头套环。

#### 使用帘式气改善衬底的不均匀性

[0074] 在半导体处理中,衬底边缘附近的所沉积的一个或多个材料层的不均匀性是持续存在的问题。不均匀性的一个量度被称为“半范围不均匀性”,也称为 $NU\%(R/2)$ ,其被定义为 $1/2 * (\text{最大厚度} - \text{最小厚度}) / \text{平均厚度} * 100\%$ 。这种不均匀性测量分析从衬底的死点沿径向到衬底边缘沉积在衬底上的材料的厚度,本文称为“径向厚度”。因此,本文所用的“径向厚度不均匀性”是指沿从衬底的死点到衬底的边缘的径向方向沉积在衬底上的材料厚度的半范围不均匀性。

[0075] 许多典型的反应器,例如CVD和ALD反应器,使用喷头将前体和反应气体两者传送到室。喷头用于使反应物均匀地分布在衬底的整个表面上,然而实际上难以确保流过喷头的反应物的均匀分布,因为处理室有复杂的流体动力学。因此,许多典型的喷头没有在衬底的整个表面上连续地且均匀地分布反应物,从而使得径向厚度的不均匀性会存在。通常在衬底的远边缘观察到最大的不均匀性,远边缘可以是例如从衬底的边缘径向向内约0-3毫米的区域。

[0076] 图5描绘了使用两种不同帘式气体流的两种衬底的测得的厚度的曲线图。纵轴表示以埃( $\text{\AA}$ )为单位的测得的厚度,横轴描绘了从衬底的死点(点1)到衬底的边缘(点50)的沿着衬底在一般径向方向上的测量点的数目,即径向厚度。具体地说,点1是中心,点2-9在约49mm的半径处在方位上分离,点10-25在约98mm的半径处在方位上分离,点26-49在约147mm的半径处在方位上分离。帘式流1的数据(用圆测量点和虚线标识)用于在典型工艺条件下在衬底上进行ALD沉积。下面将更详细地讨论帘式流2。从帘式流1可以看出,衬底的径向厚度在距离衬底中心越远的点处偏离越多,在大致测量点36-47处的厚度之间的变化最大,即径向厚度随着从衬底中心径向朝向衬底边缘的距离增大而增大。例如,在两组测量点0-26和27-49之间可以看到径向厚度不均匀的区域。例如,测量点39、40和41处的厚度相对于在诸如测量点0-25和26-34等许多其他测量点处的厚度也显著变化。帘式流1的厚度变化导致约为0.41%的 $NU\%(R/2)$ 。

[0077] 由于可用于管芯生产的晶片表面积随着距离晶片中心的径向距离增大而增大,所以朝向衬底边缘的不均匀性(包括径向距离衬底边缘约0-3毫米的区域)提出了特殊的挑战。图10示出了衬底的不同处理表面区域。可以看出,衬底1000的顶视图被示出为具有两个阴影区域:在距离中心点1002的第一径向距离 $R1$ 处,可以看到用浅色阴影标识的第一示例性周向表面区域1004;在距离中心点1002的第二径向距离 $R2$ 处,可以看到以深色阴影标识的第二示例性周向表面区域1006。每个示例性周向表面区域具有相同的径向厚度(未标



识)。由于第二径向距离R2大于第一径向距离R1,所以第二示例性周向表面区域1006比第一示例性周向表面区域1004具有较大的表面积,从而使得在第二示例性周向表面区域1006中比在第一示例性周向表面区域1004中产生较多的管芯并且导致较大的产量。

[0078] 目前,当发现一种工艺产生不可接受的不均匀性时,工艺或设计工程团队必须提出和测试多个解决方案,设计修订的生产工艺配方,验证该修订方案,并在所部署的和/或新的生产设备中将其实现。这个昂贵而费力的工艺很容易花费一到两个月的时间,在此期间制造设备可能需要脱机。解决不均匀性的技术可能包括改变以下项中的一项或多项:反应物和/或前体气体类型和气体混合物(例如,不同的气体或混合物、不同的分压等)、等离子体功率、等离子体频率、基座温度、载体环(即,位于基座上并环绕衬底的陶瓷环)的运动以及分配给多站半导体处理工具中的一个或多个站的功率的形成因子。这些工艺条件调整通常不会改善或不会显著改善衬底边缘附近的不均匀性,因为例如这些调整不是针对衬底边缘的。

[0079] 此外,沉积工艺中的大多数工艺条件通常彼此依赖,使得如果调整工艺参数A以补偿工艺响应B的差异,则这种调整可能无意地影响工艺响应C的效果。例如,可以调节站内的温度以改善不均匀性,但这种温度变化也可能影响膜应力。因此,调整一个或多个工艺条件是涉及高度相关变量的非常复杂且困难的优化问题。

[0080] 如果不均匀性校正涉及诸如喷头重新设计之类的硬件重新设计,则由于新的喷头需要重新设计、制造、安装在多站半导体处理工具中和工艺开发(例如,开发和优化工艺条件),因而可能需要三个月或更多的月份。因此,这种昂贵且耗时的硬件重新设计也不是解决径向厚度不均匀性的理想技术。

[0081] 在某些实施方式中,径向厚度不均匀性通过调整围绕每个站流动的次级气体(即,帘式气体)使得帘式气体影响靠近晶片边缘的沉积而得到改善,并且对其进行的调整减小了不均匀性,特别是在晶片边缘附近的不均匀性。在这种情况下,围绕每个站的帘式气体流可以被认为是处理室和/或每个站中的工艺条件的一部分,使得该调整可以充当用于调整处理室/或站内的工艺条件的附加“旋钮”。在本公开的一些实施方式中,帘式气体可以充当喷头的第二充气室(plenum)。本公开中的装置、系统和技术可以应用于任何流体相沉积工艺,包括上述那些,例如CVD、PECVD、和ALD(等离子体和热)。

[0082] 如上所述,帘式气体可以围绕站的周边(例如,围绕站的周界)沿大致竖直向下的方向流动,该方向可以基本上垂直于基座上的衬底的平面(例如,类似于图4中的流路420)。尽管图3和4描绘了作为线性流路的帘式气体流,但是应当理解,这种表示不是实际的帘式气体流路。相反,帘式气体流路可以是线性的、非线性的或这些的组合。帘式气体流也可以是层流、湍流或过渡流。此外,帘式气体中的一些可以向内朝向衬底的中心流动。

[0083] 现在将讨论用于使用帘式气体在多站半导体处理工具中进行膜沉积以改善不均匀性的示例性技术。图11描绘了用于在多站式半导体处理室和/或处理工具中执行膜沉积的第一示例性技术的流程图。框1150包括确定进行膜沉积的工艺条件。这样的工艺条件包括例如等离子体功率、等离子体频率、工艺气体(通过喷头传送)条件和帘式气体条件。下面将更详细地讨论这些和其他膜沉积条件。帘式气体的工艺条件包括其流体动力学条件(例如,进入室的体积流率、各种位置中的任何一处的线性流速、流路和湍流)及其组成,其可以表示为各种气体组分(例如氩气或氮气等惰性气体、分子氧(O<sub>2</sub>)等反应气体和三甲基铝

(TMA)等膜前体)的分压和/或流率。帘式气体的这些条件也可以由室内的其他工艺条件确定和/或影响,其他工艺条件如室的总体压强和室的排空速率(例如,抽排到基压速率)。例如,室的压强的变化可以通过改变其速度和/或流路来影响帘式气体的流动。在一些实施方式中,初始工艺条件可以通过计算和/或通过实验确定。

[0084] 在确定工艺条件之后,可以如框1152所示进行膜沉积。如图所示,膜沉积包括根据先前确定的工艺条件,在膜沉积期间,使帘式气体流到室内的每个站,工艺条件包括帘式气体的条件,例如气体或气体混合物的类型、流率和帘式气体组分的分压。例如,对于具有与可从加利福尼亚州Fremont的LamResearch的Striker™(以前的Vector™)沉积反应器相当的体积的四站式处理室,帘式气体可以以每站约3至60标准升/分(SLM),每站约10至50SLM,每站约15至40SLM,或每站约20至30SLM的速率流入处理室。可以在诸如上述的膜沉积的执行的一些或所有部分期间执行框1152。例如,ALD沉积工艺中的帘式气体可以仅在反应操作(iii)期间流动,而在另一ALD沉积工艺中,帘式气体可以在吸附(i)和反应(iii)阶段期间流动。它也可以在清扫步骤期间流动。在帘式气体在沉积工艺的所有阶段期间都流动的实施方式中,其可以在恒定条件(流体动力学和组成)下流动,或者其从一个阶段到下一个阶段可以变化。

[0085] 框1154包括确定室内的帘式气体的经调节的流动状况以改善衬底的不均匀性。在一些实现方式中,这是在框1152之后执行,而在一些其他实现方式中,这是在框1152期间执行。帘式气体的一个或多个流动条件可以以各种直接和间接的方式进行调整。例如,帘式气体流入室内的流率可以从在框1152中的帘式气体的流率增大或减小。注意,在沉积工艺(例如,通过CVD或ALD沉积单个膜)的整个过程中,帘式气体的流动条件可以是恒定的或可以变化。在多种实施方式中,帘式气体的流动条件和帘式气体的经调节的流动条件可以在整个膜沉积期间变化,可以在多阶段沉积工艺中的不同阶段之间变化,并且可以在特定阶段内变化。在一些实施方式中,帘式气体的经调节的流率(和/或初始流率)在多阶段沉积工艺的一个或多个阶段中以及在每个阶段期间基本上恒定(例如,在设定流率的 $\pm 5\%$ 内)。例如,在ALD工艺(其中在反应阶段(iii)期间帘式气体流动)中,帘式气体的经调节的流率在整个反应阶段(iii)的整个过程中可以是恒定的流率。在一些其他实施方式中,在沉积工艺的一个或多个阶段期间,可以使具有经调节的流率的帘式气体以一种或多种可变流率流动。

[0086] 此外,对于帘式气体的流动条件的调整可以以各种方式应用于沉积工艺。例如,该调整可以适用于整个沉积工艺,可以仅适用于沉积工艺的一部分,例如CVD工艺的一部分,可以仅适用于多阶段沉积工艺中的一个或一些阶段,例如ALD,并且可以适用于多阶段ALD工艺中的一个或多个阶段内。例如,在ALD工艺(其中,在吸附阶段(i)和反应阶段(iii)期间,使帘式气体流动)中,可以使具有经调节的流率的帘式气体仅在反应阶段(iii)中流动。在另一种情况下,可以使具有经调节的流率的帘式气体在反应阶段(iii)的前半段期间流动,同时使帘式气体在相同反应阶段(iii)的后半段期间根据初始工艺条件流动。

[0087] 如所建议的,可以调节帘式气体的组成以改善均匀性。这可以通过改变帘式气体中的组分的比例来实现。还可以通过将一种或多种组分加入到初始帘式气体中和/或从初始帘式气体中减去一种或多种组分来实现。这种组成变化反映在帘式气体的各种组分的分压和/或流率中。如所公知的,单一气体的分压是气体的总压强乘以该单一气体的摩尔百分比(fraction);气体混合物的分压是该混合物中每种单一气体的分压之和。因此,可以通过

改变构成帘式气体的一种或多种气体的压强和/或摩尔百分比来调节帘式气体的分压。因此,帘式气体的经调节的条件可以是组成调节,其可以是组成调节反映出摩尔百分比、分压、流率等方面的变化。

[0088] 如所建议的,在某些实施方式中,对帘式气体组成的调整包括改变帘式气体的一种或多种组分。这可以包括用一种单组分帘式气体替换另一种单组分帘式气体,用单组分帘式气体取代气体混合物,用不同气体混合物取代一种气体混合物(其中添加或不添加新组分或减少或不减少现有组分),或用单组分气体取代气体混合物。作为示例,帘式气体可以将诸如氩气之类的气体调节成分子氧;或者帘式气体可以被调节成氧气加氩气或氮气的混合物。类似地,经调节的帘式气体可以包括与初始帘式气体的组分相同的组分,但是具有一种或多种组分气体的经调节的浓度。例如,帘式气体的这种经调节的流动条件可以是帘式气体中的经调节的氧浓度,使得在1152中的氧浓度不同于框1154中的经调节的氧浓度。

[0089] 如上所述,可以通过调节诸如室的整体条件之类的另一工艺条件来间接地影响并因此调节帘式气体的某些条件。换句话说,对工艺条件的调节会导致对帘式气体的一种或多种条件的调节。例如,调节室的总压强可以改变帘式气体的流动条件,例如线性流率、流动路径(轨迹)等。在一些实施方式中,如本文所述,室压强的范围可以在约10毫托和10托之间,或在约20毫托和8托之间,或在约50毫托和5托之间,或在约100毫托和2托之间。在一些实施方式中,可以在这些压强范围内对室压强进行调节。在某些实施方式中,室压强的调节量在初始压强的约5%至约20%之间。在某些实施方式中,室压强的调节量介于约100毫托和约400毫托之间。

[0090] 帘式气体的经调节的流动条件也可以是由室的经调节的排空速率引起的。如上所述,可以在沉积工艺的一个或多个操作期间对室进行抽排,以便从室内除去气体和/或颗粒、以减小室压强和/或维持压强室。对室的抽排通常以特定的一种或者多种速率进行,并且(例如,通过增加一个或者多个抽排泵的抽吸速度导致的)该排空速率的变化会影响帘式气体流的一种或多种流动条件。例如,当帘式气体也正在流动时,排空速率的增大可以增大室内的帘式气体的流率。

[0091] 在一些实施方式中,框1154的帘式气体的条件的调节可以包括多于一个的上述调节,即帘式气体流率的调节,帘式气体的组成的调节,室的压强的调节和/或由室的排空速率的调节所导致的调节。

[0092] 在某些实施方式中,本文所讨论的帘式气体的一个或多个经调节的流动条件是改善在衬底上所沉积一个或多个层的径向厚度不均匀性的调节。例如,参考图5,帘式气体2(用方形测量点和实线标识)描述了根据流动条件产生的径向厚度,特别是帘式流1的帘式气体的流率被调节到较高的流率,使得帘式流2的流率高于帘式流1的流率。帘式流1和帘式流2的组成均为100%的分子氧。可以看出,相比于帘式流1,帘式流2的径向厚度不均匀性减小;相比于帘式流1为0.41%的 $NU\%(R/2)$ ,这里 $NU\%(R/2)$ 为0.26%。此外,径向厚度不均匀性降低是大致在例如测量点11-24和25-50之间实现的。此外,帘式流1的最大变化约为6埃(约786埃的低点和约792埃的高点之间),而帘式流2的最大变化约为4埃(在约786埃的低点和约790Å的高点之间)。

[0093] 在多种实施方式中,在生产期间,监测或测试沉积物均匀性以确定是否需要调节帘式气体,如果需要,则确定需要调节多少。监测或测试可以连续或间歇地进行。其可以通

过(在沉积室内)原位测试或通过沉积后(在线)测量进行。在生产运行、晶片批次或批次间的单个晶片之间进行在线测试。这种监测可能导致在一个或多个衬底中识别不均匀性。因此,第一示例性技术的一些实施方式可以包括以下的附加方面:在框1154之前识别通过室内的站中的一个或多个沉积的膜中的不均匀性并且至少在一定程度上基于该识别而调节1154的帘式气体的流动条件。如上所述,这种识别可以在线或原位进行。

[0094] 再次参考图11,还应该注意的,与常规制造设置相反,框1150、1152和/或1154可以在实验设置中执行。例如,可以进行用于膜沉积的工艺条件的初始确定和设置,例如框1150,之后可以执行一个或多个沉积工艺,例如框1152。在一个或多个沉积工艺之后,可以进行测量,以便调节和优化工艺条件,例如,对于特定的沉积工艺,调整帘式气体的一个或多个流动条件,例如框1154。可以进行框1150、1152和/或1154的附加的迭代,直到为特定沉积工艺确定所期望的工艺条件。然后,在这些实验步骤之后,所确定的工艺条件可用于衬底制造或生产。当然,经调节的工艺条件可以随着制造进行来确定。

[0095] 框1156包括根据在框1154中确定的经调节的流动条件,在膜沉积期间,使帘式气体流动。根据经调节的流动条件使帘式气体流动可以如上所述在衬底制造或生产期间进行。在一些实施方式中,使经调节的帘式气体流动可以在整个膜沉积工艺期间进行。在其他实施方式中,使经调节的帘式气体流动可以仅在膜沉积工艺的一个或多个部分期间执行。在其他部分期间,使用初始帘式气体流。在ALD或其他多阶段沉积工艺的背景中,可以在膜沉积的以下阶段期间执行框1156:将每个站中的衬底暴露于材料的前体(例如,上述(i)),从室除去至少一些前体(例如,上述(ii)),激活前体在每个衬底上的反应(例如,上述(iii)),并且在反应之后除去室内的至少一些气体(例如,上述(iv))。在一些其他实施方式中,经调节的帘式气体可以在CVD或ALD工艺的一个或多个阶段期间使用,例如本文列出的那些阶段(例如(i)-(iv))中的一个阶段。其他阶段可以用未经调节的帘式气体进行。

[0096] 在一些其他实施方式中,在衬底上制造或生产半导体器件期间执行框1152、1154和/或1156。在这样的实施方式中,可以在制造器件期间进行膜沉积,包括根据工艺条件(例如,框1152),在膜沉积期间,使帘式气体流动,并且在膜沉积期间的某个时点,可以调节一个或多个帘式气体的流动条件以改善衬底不均匀性(例如,框1154)。例如,对于ALD工艺,根据工艺条件使帘式气体流动可以在第一数量的沉积循环中进行,之后根据经调节的流动使帘式气体流动可以在第二数量的沉积循环中进行(例如,框1156)。

[0097] 在一些实施方式中,调节帘式气体的流动可以采用纯分子氧。在一些实施方式中,帘式气体可以包括氧和第二组分(例如惰性气体,如氩气或氮气)的混合物。调节流动可以包括调节氧浓度,使得在框1152中流动的氧浓度不同于在框1154和1156中的经调节的氧浓度。调节帘式气体的流动也可以使用纯分子氧。

#### 衬底处理系统的详细描述

[0098] 本文描述的方法和技术可以用用于在多站式半导体处理工具(例如,任何合适的半导体衬底处理装置)中执行膜沉积的任何合适的系统来执行,所述多站式半导体处理工具包括上述和并入的专利申请中的至少名称为“COMPOSITION-MATCHED CURTAIN GAS MIXTURES FOR EDGE UNIFORMITY MODULATION IN LARGE-VOLUME ALD REACTORS”以及“METHODS AND APPARATUSES FOR SHOWERHEAD BACKSIDE PARASITIC PLASMA SUPPRESSION IN A SECONDARY PURGE ENABLED ALD SYSTEM”的这两个专利申请中所描述的那些工具。用

于在一个或多个多站式半导体处理工具中执行膜沉积的系统包括用于实现工艺操作的硬件以及具有(或访问)用于根据本文公开的处理技术控制工艺操作的机器可读指令的系统控制器。

[0099] 因此,在一些实施方式中,适合在多个半导体衬底上沉积膜材料的系统可以包括:第一成组的一个或多个处理站,每一个处理站都具有包含在处理室中的衬底保持器;第二成组的一个或多个处理站,每一个处理站都具有包含在处理室中的衬底保持器;用于控制膜前体朝向处理站流动的一个或多个阀;以及用于从围绕包含在一个或多个处理室内的处理站的体积除去膜前体的一个或多个阀操作式真空源。并且,这样的系统还可以包括具有(或访问)用于操作衬底加载设备、衬底传送设备、一个或多个阀、以及真空源以沉积膜材料到衬底上的机器可读指令的控制器。

[0100] 因此,在一些实施方式中,由控制器执行的所述指令可包括用于在包含在处理室中的多个处理站处的多个衬底上形成膜的指令,其中通过ALD循环序列在每个衬底上形成膜的多个层。因此,在某些这类实施方式中,由控制器执行的所述指令可以包括用于执行如上所述的ALD的操作(i)至(iv)的指令以及用于重复ALD的操作(i)至(iv)多次以在衬底处理装置的多个处理站处的多个衬底上形成膜的多个层的指令。

[0101] 因此,图1示意性示出了可以属于系统的一部分的衬底处理工具100的一种实施方式。为简单起见,工具100被描述成具有用于维持低压环境的处理室主体102的独立处理站。然而,应当理解,多个处理站可以包括在共同的处理工具环境中,例如,在共同的反应室内,如本文所述。例如,图2描绘了包含多站式处理工具的系统的一种实施方式。此外,应理解的是,在一些实施方式中,处理工具100的包括在本文详细讨论的那些硬件参数在内的一个或多个硬件参数可以通过编程方式由属于系统的一部分的一个或多个系统控制器调整。

[0102] 处理站102与反应物输送系统101流体地连通以便将工艺气体输送至分配喷头106。反应物输送系统101包括用于混合和/或调节输送至喷头106的工艺气体的混合容器804。一个或多个混合容器入口阀120可控制工艺气体朝向混合容器804的导入。

[0103] 一些反应物可在汽化和随后输送到处理室102之前以液体形式存储。图1的实施方式包括用于将拟被供给到混合容器804的液体反应物汽化的汽化站点103。在一些实施方式中,汽化站点103可以是加热的液体喷射模块。在一些实施方式中,汽化站点103可以是加热的蒸发器。从这样的模块/蒸发器产生的饱和反应物蒸气没有在合适位置受到充分的控制时(例如,当没有氦气用于汽化/雾化液体反应物时)会在输送管路下游凝结。不相容的气体暴露于凝结的反应物会产生小颗粒。这些小颗粒会堵塞管路、阻碍阀门操作、污染衬底等。解决这些问题的一些方法涉及打扫和/或排空输送管以除去残留的反应物。然而,打扫输送管可能会增加处理站的循环时间、降低处理站的吞吐量。因此,在一些实施方式中,汽化站点103下游的输送管道也可以进行热处理。在一些实施例中,混合容器804也可以进行热处理。在一个非限制性的实施例中,汽化站点103下游的管道具有从约100℃升高至在混合容器804处的约150℃的递增的温度分布。

[0104] 如上所述的,在一些实施方式中,汽化站点103可以是加热的液体喷射模块(简称“液体喷射器”)。这样的液体喷射器可喷射液体反应物的脉冲到混合容器上游的载气流中。在一种情况下,液体喷射器可通过从较高的压强到较低的压强来闪蒸液体,从而汽化反应物。在另一种情况下,液体喷射器可将液体雾化成随后在加热的输送管中汽化的分散微滴。

应该理解的是,较小的液滴会比较大的液滴汽化较快,从而减少液体喷射和完全汽化之间的延迟。较快汽化可以缩短汽化站点103下游管路的长度。在一种情况下,液体喷射器可直接安装到混合容器804上。在另一种情况下,液体喷射器可直接安装到喷头106上。

[0105] 在一些实施方式中,汽化站点103上游的液体流量控制器(LFC)可以被设置用于控制液体的质量流量以便使其汽化并输送到处理室102。例如,LFC可包括位于LFC下游的热质量流量计(MFM)。然后可响应于由与该MFM电通信的比例-积分-微分(PID)控制器提供的反馈控制信号调节LFC的柱塞阀。然而,它可能需要一秒或更多时间以使用反馈控制来稳定液体流。这可能延长投配液体反应物的时间。因此,在一些实施方式中,LFC可以在反馈控制模式和直接控制模式之间进行动态切换。在一些实施方式中,LFC可以通过禁用LFC和PID控制器的感应管道而被动态地从反馈控制模式切换到直接控制模式。

[0106] 气体输送系统101还可以被配置为使帘式气体流动并将帘式气体输送到处理室102。一些这样的构造可以包括管道、阀和帘式气体源。如本文所述并且至少在图3、6和12-14中所示出的,包括处理室的适用于在多个半导体衬底上沉积材料膜的系统可以被配置为使帘式气体从适合于帘式气体在为各种处理站提供体积隔离以及提供诸如本文所述的其他益处方面的作用的入口点(例如从每个吊灯型喷头的头部后方、从基座、从喷头和/或从室主体(例如,室的顶壁))流入处理室。

[0107] 喷头106将工艺气体和/或反应物(例如,膜前体)朝在处理站处的衬底112分配,工艺气体和/或反应物(例如,膜前体)的流动由喷头上游的一个或多个阀(例如,阀120、120A、105)控制。在图1中所示的实施方式中,衬底112位于喷头106的下方,并显示为搁置在基座108上。应该理解的是,喷头106可具有任何合适的形状,并且可以具有任何合适数量和布置的端口以便分配工艺气体到衬底112。

[0108] 在一些实施方式中,微体积107位于喷头106下方。在处理站靠近衬底的微体积中执行ALD工艺而不是在处理室的整个体积中执行ALD工艺,这样可以减少反应物的暴露和打扫次数,可减少用于改变工艺条件(例如,压力、温度等)的次数,可以限制处理站的机械手暴露于工艺气体等。微体积尺寸的实施例包括但不限于介于0.1升和2升之间的体积。

[0109] 在一些实施方式中,基座108可以升高或降低以暴露衬底112给微体积107和/或改变微体积107的体积。例如,在衬底传送阶段,基座108可被降低,以使衬底112能被加载到基座108上。在衬底上进行沉积的处理阶段,基座108可被升高以将衬底112定位在微体积107内。在一些实施方式中,微体积107可完全围绕衬底112以及基座108的一部分,以在沉积处理期间创建高流动性阻抗区域。

[0110] 任选地,可将基座108在沉积处理的部分期间降低和/或升高以调节微体积107内的处理压强、反应物浓度等。在处理室主体102在处理期间保持在基本压强的一种情况下,降低基座108可使得微体积107能被抽空。微体积比处理室体积的示例性比率包括,但不限于,介于1:500和1:10之间的体积比。应理解的是,在一些实施方式中,基座高度可以经由合适的系统控制器通过编程方式进行调整。

[0111] 在另一种情况下,调整基座108的高度可以使得等离子体密度在包含例如在ALD或CVD工艺中的等离子体活化和/或处理循环期间能够变化。在沉积处理阶段结束时,基座108可以在另一衬底传送阶段被降低以使得衬底112能从基座108移走。

[0112] 虽然在本发明描述的示例性微体积变化指的是高度可调的基座,但应该理解的

是,在一些实施方式中,喷头106的位置可以相对于基座108被调整以改变微体积107的体积。此外,应当理解的是,基座108和/或喷头106的垂直位置可以通过本公开内容的范围内的任何合适的机构来改变。在一些实施方式中,基座108可包括用于旋转衬底112的方向的旋转轴线。应该理解的是,在一些实施方式中,这些示例性调整中的一个或多个可以通过一个或多个适当的系统控制器以编程方式执行,该控制器具有用于执行前述操作的全部或子集的机器可读指令。

[0113] 返回至图1所示的实施方式中,喷头106和基座108电连通RF功率源114和匹配网络116以激励等离子体。在一些实施方式中,等离子体的能量可通过控制处理站的压强、气体的浓度、RF源功率、RF源频率以及等离子体功率脉冲时序中的一个或多个来控制(例如,经由具有适当的机器可读指令的系统控制器)。例如,RF功率源114和匹配网络116可在任何合适的功率下进行操作,以形成具有所期望的自由基物质的组分的等离子体。合适的功率的实施例包括在上文中。同样地,RF功率源114可以提供任何适当频率的RF功率。在一些实施方式中,RF功率源114可以被配置为彼此独立地控制高频RF功率源和低频RF功率源。示例性的低频RF频率可以包括,但不限于,介于50kHz和500kHz之间的频率。示例性的高频RF频率可以包括,但不限于,介于1.8MHz和2.45GHz之间的频率。应当理解,任何合适的参数可被离散地或连续地调制以提供用于表面反应的等离子体能量。在一个非限制性实例中,等离子体功率可以间歇地施以脉冲,以相对于被连续激励的等离子体减少对衬底表面的离子轰击。

[0114] 在一些实施方式中,等离子体可由一个或多个等离子体监控器原位监控。在一种情形中,等离子体功率可通过一个或一个以上的电压、电流传感器(例如,VI探针)进行监控。在另一种情况下,等离子体密度和/或工艺气体的浓度可以由一个或多个光发射谱(OES)传感器来测量。在一些实施方式中,一个或多个等离子体参数可基于来自这样的原位等离子体监控器的测量结果通过编程方式进行调整。例如,OES传感器可用于反馈回路中以提供对等离子体功率的程式化控制。应理解的是,在一些实施方式中,可使用其它监控器来监控等离子体和其他工艺特性。这样的监控器可包括,但不限于,红外(IR)监控器、声学监控器、以及压力传感器。

[0115] 在一些实施方式中,可以经由输入/输出控制(I/O)测序指令来控制等离子体。在一个示例中,用于设置等离子体激活阶段的等离子体条件的指令可被包括在工艺配方的相应的等离子体激活配方阶段中。在某些情况下,工艺配方阶段可按顺序排列,使得用于工艺阶段的所有指令与该工艺阶段同时执行。在一些实施方式中,用于设定一个或一个以上的等离子体参数的指令可以被包括在等离子体工艺阶段之前的配方阶段中。例如,第一配方阶段可以包括用于设置惰性气体(例如,氩)和/或反应气体的流率的指令、用于设置等离子体发生器至功率设定点的指令、以及用于第一配方阶段的时延指令。后续的第二配方阶段可包括用于启用等离子体发生器的指令以及用于第二配方阶段的时延指令。第三配方阶段可以包括用于禁用等离子体发生器的指令以及用于第三配方阶段的时延指令。应当理解,这些配方阶段可进一步以在本公开的范围内的任何合适的方式细分和/或重复。

[0116] 在一些沉积处理中,等离子体激励持续约几秒钟或更长的持续时间。在此处描述的某些实现方式中,远远较短时间的等离子体激励可应用在处理循环期间。这些远远较短时间可以是约50毫秒至1秒,0.25秒是一个具体实施例。如此短时间的RF等离子体激励要求



等离子体的快速稳定。为了实现这一点,可以将等离子体发生器配置为使得所述阻抗匹配被预设为特定的电压,同时使频率能浮动。按惯例,高频等离子体在约13.56MHz的RF频率下产生。在本文公开的各种实施方式中,使频率能浮动到不同于该标准值的值。通过使频率能浮动,同时固定阻抗匹配到预定电压,可以远远较快地稳定等离子体,其结果在使用与ALD循环相关的非常短时间的等离子体激励时可能是重要的。

[0117] 在一些实施方式中,基座108可通过加热器110进行温控。另外,在一些实施方式中,对于处理装置100的压力控制可通过诸如蝶形阀118之类的一个或者多个阀操作式真空源来提供。如图1的实施方式中所示,蝶形阀118调节由下游真空泵(未示出)提供的真空。然而,在一些实施方式中,处理装置100的压力控制也可以通过改变引入到处理室102的一种或多种气体的流率进行调整。在一些实施方式中,一个或多个阀操作式真空源(如蝶形阀118)可以用于在合适的ALD操作性操作期间从围绕处理站的体积除去膜前体。

[0118] 如上所述,一个或多个处理站可以被包括在多站式衬底处理工具中。图2示意性地示出了包含多站式处理工具200的系统的一实施例,其包括在共同的低压处理室214中的多个处理站201、202、203和204。通过将每个站保持在低压环境中,可避免由膜沉积处理之间的真空中断所引起的缺陷。

[0119] 如图2所示,系统200具有衬底加载端口220和衬底搬运机械手226,衬底搬运机械手226被配置为将衬底从通过容器228装载的盒移动通过大气端口220,进入处理室214,并且最终到达处理站。具体地,在本案例中,衬底搬运机械手226在处理站201和202装载衬底,以及衬底传送装置(在本案例中为衬底转盘290)在各处理站201、202、203以及204之间传输衬底。在图2中所示的实施方式中,衬底装载装置被描绘为具有用于控制衬底的2个臂的衬底搬运机械手226,因此,如所描绘的,它可以在两个站201和202装载衬底(也许同时,或者也许按顺序地)。然后,在站201和202装载之后,图2中描绘的衬底传送装置、转盘290可以做180度的旋转(绕其中心轴线,中心轴线基本上垂直于衬底(从页面出来)的平面,并在衬底之间基本上等距)以从站201和202传送两个衬底到站203和204。在这一点上,搬运机械手226可在站201和202装载2个新衬底,完成装载过程。为了卸载,可以颠倒这些步骤,除了下列操作以外:如果要处理多组的4个晶片,那么每次通过搬运机械手226卸载2个衬底将伴随通过在将传送转盘290转动180度之前装载2个新的衬底。类似地,配置放置衬底在仅1个站(例如201)的独臂搬运机械手将在伴随转盘290旋转90度的4步装载工艺中使用以在所有4个站装载衬底。

[0120] 在图2中示出的所描述的处理室214提供了四个处理站201、202、203和204。每个站具有加热基座(对于处理站201以218显示)以及气体管线入口。应当理解,在一些实施方式中,每一个处理站可以具有不同的用途或多个用途。例如,在一些实施方式中,处理站可以在ALD工艺模式和CVD工艺模式之间切换。附加地或替代地,在一些实施方式中,处理室214可以包括一个或多个匹配的成对的ALD/CVD处理站。虽然所描绘的处理室214包括四个处理站,但是应当理解,根据本公开的处理室可以具有任何适当的数目的站。例如,在一些实施方式中,处理室可具有1个、或2个、或3个、或4个、或5个、或6个、或7个、或8个、或9个、或10个、或11个、或12个、或13个、或14个、或15个、或16个、或更多的处理站(或成组的实施方式可以被描述为每个反应室具有在由任何成对的前述值所限定的范围内的处理站的数量,例如每个反应室具有2至6个处理站,或每个反应室具有4至8个处理站,或每个反应室具有8至



16个处理站等)。

[0121] 如上所指出的,图2示出了衬底传送设备290的实施方式,衬底传送设备290用于在处理室214内的处理站201、202、203和204之间传送衬底。应当理解,可以采用任何合适的衬底传送设备。非限制性的实施例包括晶片转盘和衬底搬运机械手。

#### 系统控制器

[0122] 图2还示出了用于控制处理工具200以及其处理站的工艺条件和硬件状态的包括系统控制器250的系统的一个实施方式。系统控制器250可包括一个或多个存储器设备256、一个或多个大容量存储设备254以及一个或多个处理器252。处理器252可以包括一个或多个CPU、ASIC、通用计算机和/或专用计算机、一个或多个模拟和/或数字输入/输出连接件、一个或多个步进电机控制器板等。

[0123] 在一些实施方式中,系统控制器250控制处理工具200的包括其单个的处理站的操作在内的操作中的一些或全部。系统控制器250可以执行在处理器252上的机器可读系统控制指令258,在一些实施方式中,系统控制指令258从大容量存储装置254加载到存储器设备256中。系统控制指令258可包括用于控制时序、气体和液体反应物的混合物、室和/或站的压强、室和/或站的温度、晶片的温度、目标功率电平、RF功率电平、RF暴露时间、衬底基座、卡盘和/或基座的位置、以及通过处理工具200执行的特定处理的其它参数的指令。这些处理可以包括各种类型的处理,包括但不限于与在衬底上沉积膜相关的处理。系统控制指令258可以以任何合适的方式进行配置。例如,各种处理工具组件子程序或控制的对象可以被写入以控制执行各种处理工具的进程所需要的处理工具组件的操作。系统控制指令258可以以任何合适的计算机可读编程语言进行编码。在一些实施方式中,系统控制指令258在软件中实现,在其他实施方式中,指令可在硬件中实现,例如,作为逻辑硬编码在ASIC(专用集成电路)中,或者,在其他实施方式中,作为软件和硬件的组合实现。

[0124] 在一些实施方式中,系统控制指令258可包括用于控制上述各种参数的输入/输出控制(I/O)测序指令。例如,一个或者多个沉积处理的每个阶段可以包括用于由系统控制器250执行的一个或多个指令。用于设置膜沉积处理阶段的处理条件的指令例如可以包括在相应的沉积配方阶段中并同样可以用于覆盖膜沉积阶段。在一些实施方式中,配方阶段可按顺序设置,以便处理阶段的所有指令与该处理阶段同时执行。

[0125] 在一些实施方式中可以采用存储在与系统控制器250相关联的大容量存储设备254和/或存储器设备256上的其它计算机可读指令和/或程序。程序或程序段的实例包括衬底定位程序、工艺气体控制程序、压强控制程序、加热器控制程序以及等离子体控制程序。

[0126] 衬底定位程序可以包括用于处理工具组件的指令,该处理工具组件用于将衬底加载到基座218上并控制衬底和处理工具200的其它部件之间的间隔。该定位程序可以包括用于根据需要适当地移动衬底进出反应室以将膜沉积在衬底上的指令。

[0127] 工艺气体控制程序可包括用于控制气体组成和流率的指令和任选地用于使气体(例如帘式气体)在沉积之前流到围绕一个或多个处理站的体积中以稳定在这些体积中的压强的指令。在一些实施方式中,工艺气体控制程序可以包括用于在衬底上沉积膜期间引入某些气体到围绕在处理室中的一个或多个处理站的体积的指令。工艺气体控制程序还可以包括以相同速率在相同的期间、或者以不同的速率和/或在不同的期间输送这些气体的指令,具体取决于将被沉积的膜的组分。工艺气体控制程序还可以包括用于在加热的喷射

模块中在存在氦或一些其它的载气的情况下雾化/汽化液体反应物的指令。

[0128] 压强控制程序可以包括用于通过调节例如在处理站的排放系统中的节流阀、流入处理站内的气流等等来控制处理站内的压强的指令。压强控制程序可以包括用于在衬底上沉积各种类型的膜期间保持相同或不同的压强的指令。

[0129] 加热器控制程序可包括用于控制流向用于加热衬底的加热单元的电流的指令。可替代地或附加地,加热器控制程序可控制传热气体(如氦)朝向衬底上的传送。加热器控制程序可包括在衬底上沉积各种类型的膜期间用于在反应室和/或围绕处理站的体积内保持相同或不同的温度的指令。

[0130] 等离子体控制程序可包括用于根据本文的实施方式设置一个或多个处理站内的RF功率电平、频率和暴露次数的指令。在一些实施方式中,等离子体控制程序可以包括用于在衬底上沉积膜期间使用相同或不同的RF功率电平和/或频率和/或暴露次数的指令。

[0131] 在一些实施方式中,可以存在与系统控制器250相关联的用户界面。用户界面可以包括显示屏、装置和/或工艺条件的图形软件显示器、以及诸如定点设备、键盘、触摸屏、麦克风等用户输入设备。

[0132] 在一些实施方式中,由系统控制器250调整的参数会涉及工艺条件。非限制性实例包括工艺气体组成和流率、温度、压强、等离子体条件(例如,RF偏置功率电平和暴露次数)等。这些参数可以以配方的形式提供给用户,配方可以利用所述用户界面输入。

[0133] 用于监控处理的信号可以由系统控制器250的模拟和/或数字输入连接件从各种处理工具传感器提供。用于控制处理的信号可以通过处理工具200的模拟和/或数字输出连接件输出。可被监控的处理工具传感器的非限制性实例包括质量流量控制器(MFC)、压力传感器(例如压力计)、热电偶等。经适当编程的反馈和控制算法可以与来自这些传感器的数据一起使用,以保持工艺条件。

[0134] 系统控制器250可以提供用于执行本文所描述的沉积处理的机器可读指令。所述指令可以控制多种处理参数,如DC功率电平、RF偏置功率电平、压力、温度等。所述指令可以控制这些参数以根据本发明所描述的多种实施方式操作膜堆叠的原位沉积。

[0135] 上面所描述的各种装置和方法可以与光刻图案化工具和/或工艺结合使用,例如,以用于制造或生产半导体器件、显示器、发光二极管、光伏电池板等。典型地,但不必然地,此类工具将在普通的制造设施中一起和/或同时使用,或者此类工艺将在普通的制造设施中一起和/或同时执行。

[0136] 光刻图案化膜通常包括以下操作中的一些或全部,每个操作能够使用多种可行的工具:(1)使用旋涂或喷涂工具将光致抗蚀剂涂覆在衬底上,例如涂覆在上面形成有氮化硅膜的衬底上;(2)使用热板或炉或其它合适的固化工具固化光致抗蚀剂;(3)使用例如晶片步进式曝光机之类的工具将光致抗蚀剂暴露于可见光或紫外线或X射线;(4)使抗蚀剂显影以便使用诸如湿式台或喷射显影器之类的工具选择性地除去抗蚀剂,从而使其图案化;(5)通过使用干式或等离子体辅助式的刻蚀工具将抗蚀剂图案转移到下伏膜或衬底;并且(6)使用例如射频或微波等离子体抗蚀剂剥离器之类的工具除去抗蚀剂。在一些实施方式中,可灰化硬掩模层(例如无定形碳层)和另一种合适的硬掩模(例如抗反射层)可以在施加光致抗蚀剂之前沉积。

使用衬底处理系统中的帘式气体改善衬底的不均匀性

[0137] 本文讨论的系统可以用于实现如上所述的用于控制使用帘式气体的衬底的不均匀性的技术。在一些这样的实施方式中,用于在多站式半导体处理工具中执行膜沉积的系统可以包括本文所述的系统的一个或多个方面,诸如图1的气体输送系统101。系统还可以包括处理室,处理室包括至少两个站,例如图1的室102或图2的处理室214。该处理室可以共享气体输送系统,并且可以被配置为使帘式气体围绕每个站的周边流动。在这里描述了这种配置的一个示例,以及在上述的且并入的名称为“COMPOSITION-MATCHED CURTAIN GAS MIXTURES FOR EDGE UNIFORMITY MODULATION IN LARGE-VOLUME ALD REACTORS”和“METHODS AND APPARATUSES FOR SHOWERHEAD BACKSIDE PARASITIC PLASMA SUPPRESSION IN A SECONDARY PURGE ENABLED ALD SYSTEM”的专利申请中被描述。

[0138] 系统还可以包括控制器,如本文描述的系统控制器,例如图2的系统控制器250,其用于控制系统以将材料沉积在分开的站中处理的至少两个衬底上。控制器可以包括用于实现上述技术的一些或所有方面(包括上面参照图11描述的所有这些方面)的控制逻辑。在一个实施方式中,控制器可以包括用于根据工艺条件,在膜沉积期间,使帘式气体流动到在室内的每个站,以在室内进行膜沉积的控制逻辑,所述工艺条件包括围绕在室内的每个站的周边流动的帘式气体的流动条件。帘式气体的这种流动可以与上文所述的图11的框1152相同,并且这样的描述被并入此处。

[0139] 控制器还可以包括用于确定室内的帘式气体的经调节的流动条件以改善衬底不均匀性的控制逻辑。帘式气体的经调节的流动条件可以类似于在本文中在上面参照图11的框1154所述的经调节的流动条件进行,并且这种讨论适用于该系统,且并入此处。例如,帘式气体的经调节的流动条件可以是根据如上直接所述的工艺条件,在膜沉积期间,在帘式气体流动之后可能出现的帘式气体的经调节的流率。

[0140] 控制器可以进一步包括控制逻辑,其用于根据经调节的流动条件,在膜沉积期间,使帘式气体流动。同样,该流动可以与框1156相同,并且这样的讨论被并入此处。此外,如上文所述,这三个方面中的一个或多个可以在实验设置中执行,而在衬底制造期间可以执行其他方面中的一个或多个。例如,根据工艺条件,在膜沉积期间,使帘式气体流动并且确定帘式气体的经调节的流动条件(例如,分别与图11的框1152和1154类似)可以在实验设置中进行,而根据经调节的流动条件使帘式气体流动可以在衬底制造期间执行。

[0141] 在一些实施方式中,如本文所讨论的,系统的控制器还可以包括用于执行循环沉积工艺(例如ALD)的多个阶段的控制逻辑,多个阶段例如将每个站中的衬底暴露于材料的前体(例如,投配),从室除去前体中的至少一些(例如,清扫),激活前体在每个衬底上的反应(例如,活化),以及在反应之后除去室内的气体中的至少一些(例如,清扫)。根据该调节,在膜沉积期间使帘式气体流动可以在这些阶段中的一个或多个阶段期间进行,与上面所讨论的类似。

[0142] 在一些实施方式中,系统的控制器还可以包括用于确定工艺条件以在室内进行膜沉积的控制逻辑,所述工艺条件包括帘式气体的流量。这样的确定可以类似于图11的框1150,并且这样的讨论被并入此处。

#### 原子层沉积技术和沉积的膜的详细描述

[0143] 如上文所讨论的,随着器件尺寸持续缩小以及IC发展到使用3-D晶体管和其它3-D结构,沉积精确数量(厚度)的共形膜材料(特别是电介质,而且还有各种含掺杂剂的材料)

的能力已变得日益重要。原子层沉积是一种用于实现共形膜沉积以得到所需厚度的膜的技术,该共形膜沉积通常涉及多个沉积循环。

[0144] 相比于用被激活的气相反应来沉积膜的化学气相沉积(CVD)工艺,ALD工艺使用表面介导的沉积反应来逐层地沉积膜。例如,在一类ALD工艺中,第一膜前体(P1)以气相引入到处理室中、被暴露于衬底、并且能被吸附在衬底的表面上(通常在成群的表面活性位点处)。一些P1分子可以形成衬底表面上的凝聚相,其包括P1的化学吸附物质和物理吸附分子。然后,将衬底表面周围的容积抽空以除去气相和物理吸附的P1,使得只有化学吸附物质保留。随后第二膜前体(P2)可被引入到处理室中,使得一些P2分子吸附到衬底表面。可再将在处理室中衬底周围的体积抽空,这一次是除去未结合的P2。接着,提供到衬底的能量(例如,热能或等离子体能量)激活所吸附的P1和P2分子之间的表面反应,以形成膜层。最后,再次将衬底周围的容积抽空以除去未反应的P1和/或P2和/或反应副产物(如果存在的话),从而结束ALD的单个循环。

[0145] 用于沉积具有多种化学物质的共形膜的ALD技术(以及基本ALD工艺序列的许多变化方案)在以下专利文献中进行了详细的描述:于2011年4月11日提交的、名称为“PLASMA ACTIVATED CONFORMAL FILM DEPOSITION”的美国专利申请No.13/084,399(律师案卷号NOVLP405);于2011年9月23日提交的、名称为“PLASMA ACTIVATED CONFORMAL DIELECTRIC FILM DEPOSITION”的美国专利申请No.13/242,084,现在的美国专利No.8,637,411(律师案卷号NOVLP427);于2011年9月1日提交的、名称为“PLASMA ACTIVATED CONFORMAL DIELECTRIC FILM DEPOSITION”的美国专利申请No.13/224,240(律师案卷号NOVLP428);以及于2012年9月7日提交的、名称为“CONFORMAL DOPING VIA PLASMA ACTIVATED ATOMIC LAYER DEPOSITION AND CONFORMAL FILM DEPOSITION”的美国专利申请No.13/607,386(律师案卷号NOVLP488),基于所有的目的将这些专利文献中的每一个的全部内容通过引用并入本发明。如在这些先前的申请中所描述的,用于在衬底上沉积单个材料层的基本的ALD循环可以包括:(i)吸附膜前体到在处理站处的衬底上使得膜前体形成吸附受限层;(ii)从处理站附近除去存在的未被吸附的前体(“未被吸附的前体”被定义为包含解吸的前体);(iii)使所吸附的前体反应以在衬底上形成膜层;以及任选地(iv)将解吸的膜前体和/或反应副产物从处理站附近除去。在操作(ii)和(iv)中的除去可以通过将衬底周围的容积清扫、抽空、抽排到基准压强(“抽排至基压”)等来执行。在一些实施方式中,清扫气体可以与主等离子体原料气体相同。上述顺序的操作(i)至(iv)代表导致形成单层膜的单个ALD循环。然而,由于通过ALD形成的单层膜通常非常薄,通常仅仅是单分子厚,所以使多个ALD循环依顺序重复以构建可观厚度的膜。因此,如果希望沉积例如N层的膜(或者等同地,可以例如膜的N层),则多个ALD循环(操作(i)至(iv))可以依顺序重复N次。

[0146] 应注意的是,这种操作(i)到(iv)的基本的ALD序列不必然涉及如在上述的例子中所述的两种化学吸附的反应物质P1和P2,甚至也不会必然涉及第二反应性物质,但可以使用这些可能性/选项,具体取决于所涉及的所需的沉积化学物。

[0147] 然而,由于ALD的吸附受限性质,所以ALD的单个循环仅沉积薄的材料膜,并且常常只有单个的材料单层。例如,根据膜前体投配操作的暴露时间和膜前体(至衬底表面)的粘着系数,每个ALD循环可沉积仅约0.5至3埃厚的膜层。因此,在典型的ALD循环中的操作的序列(刚才所描述的操作(i)到(iv))通常被重复多次,以便形成所需厚度的共形膜。因此,在

一些实施方式中,操作(i)到(iv)连续地接连被重复至少1次,或至少2次,或至少3次,或至少5次,或至少7次,或至少10次。ALD膜可以按以下速率来沉积:约0.1埃和2.5埃或介于0.1埃和2.5埃之间/ALD循环,或者约0.2埃和2埃或介于0.2埃和2埃之间/ALD循环,或者约0.3埃和1.8埃或介于0.3埃和1.8埃之间/ALD循环,或者约0.5埃和1.5埃或介于0.5埃和1.5埃之间/ALD循环,或者约0.1埃和1.5埃或介于0.1埃和1.5埃之间/ALD循环,或者约0.2埃和1.0埃或介于0.2埃和1.0埃之间/ALD循环,或者约0.3埃和1.0埃或介于0.3埃和1.0埃之间/ALD循环,或者约0.5埃和1.0埃或介于0.5埃和1.0埃之间/ALD循环。

[0148] 在某些成膜化学物中,除了使用被称为“膜前体”的物质外,也可使用辅助反应物或共反应物。在某些这样的实施方式中,在重复步骤(i)到(iv)时,在步骤(i)到(iv)的子步骤期间或者在(i)到(iv)中的每个步骤的整个过程中,可以使辅助反应物或共反应物连续地流动。在一些实施方式中,这种其它的反应性化学物质(辅助反应物、共反应物等)可以在其与膜前体反应之前与该膜前体一起被吸附到衬底的表面上(如在上文描述的涉及前体P1和P2的实施例中),然而,在其它实施方式中,这种其它的反应性化学物质可在与所吸附的膜前体接触时而本身没有事先吸附到衬底表面上的情况下与所吸附的膜前体发生反应。此外,在一些实施方式中,使所吸附的膜前体反应的操作(iii)会涉及使所吸附的膜前体与等离子体接触。等离子体可以提供能量以驱动在衬底表面上的成膜反应。在某些这样的实施方式中,等离子体可以是在施加合适的RF功率的情况下在反应室中产生的氧化性的等离子体(尽管在一些实施方式中,其可以远程产生)。在其他实施方式中,可以使用惰性等离子体代替氧化性等离子体。氧化等离子体可以由一种或多种氧化剂(例如 $O_2$ 、 $N_2O$ 或 $CO_2$ )形成,并且可以任选地包括一种或多种稀释剂,例如Ar、 $N_2$ 或He。在一个实施方式中,氧化等离子体由 $O_2$ 和Ar形成。合适的惰性等离子体可以由一种或多种惰性气体(如He或Ar)形成。在刚刚引用的现有专利申请(并通过引用并入本发明)中详细描述了ALD工艺的进一步变化。

[0149] 在一些实施方式中,所沉积的多层膜可以包括通过例如下述方式形成的交替组合物的区域/部分:共形地按顺序沉积具有一种组合物的多个层,接着共形地按顺序沉积具有另一种组合物的多个层,然后可以重复和交替这两个顺序。所沉积的ALD膜的这些方面中的一些例如描述在2012年9月7日提交的、名称为“CONFORMAL DOPING VIA PLASMA ACTIVATED ATOMIC LAYER DEPOSITION AND CONFORMAL FILM DEPOSITION”的美国专利申请No.13/607,386(律师档案No.NOVL488)中,该专利申请的全部内容基于所有目的通过引用并入本发明。具有交替组合物的部分的共形膜(包括用于对下伏的目标IC结构或衬底区域进行掺杂的膜)的另外的实例以及形成这些膜的方法详细描述于下述文献中:于2011年4月11日提交的、名称为“PLASMA ACTIVATED CONFORMAL FILM DEPOSITION”的美国专利申请No.13/084,399(律师档案号NOVL405);于2011年9月23日提交的、名称为“PLASMA ACTIVATED CONFORMAL DIELECTRIC FILM DEPOSITION”的美国专利申请No.13/242,084,现在的美国专利No.8,637,411(律师档案号NOVL427);于2011年9月1日提交的、名称为“PLASMA ACTIVATED CONFORMAL DIELECTRIC FILM DEPOSITION”的美国专利申请No.13/224,240(律师档案号NOVL428);于2012年9月7日提交的、名称为“CONFORMAL DOPING VIA PLASMA ACTIVATED ATOMIC LAYER DEPOSITION AND CONFORMAL FILM DEPOSITION”的美国专利申请No.13/607,386(律师档案号NOVL488);以及于2014年2月28日提交的、名称为“CAPPED ALD FILMS FOR DOPING FIN-SHAPED CHANNEL REGIONS OF 3-D IC TRANSISTORS”的美国

专利申请No.14/194,549;这些专利文献中的每一个的全部内容基于所有目的通过引用并入本发明。

[0150] 如在上面参考的详述中具体描述的,ALD工艺常常用于沉积共形氧化硅( $\text{SiO}_x$ )膜,然而ALD工艺也可用于沉积其它化学物质的共形介电膜,如也在前述并入的说明书中所公开的。在一些实施方式中,ALD形成的介电膜可以包含碳化硅( $\text{SiC}$ )材料、氮化硅( $\text{SiN}$ )材料、碳氮化硅( $\text{SiCN}$ )材料或它们的组合。在某些ALD形成的膜的实施方式中也可以形成硅-碳-氧化物和硅-碳-氧氮化物以及硅-碳-氮化物。用于沉积这些类型的膜的方法、技术和操作在下述专利文献中进行了详细描述:于2012年6月12日提交的、名称为“REMOTE PLASMA BASED DEPOSITION OF  $\text{SiOC}$  CLASS OF FILMS”的美国专利申请No.13/494,836,律师档案号NOVLP466/NVLS003722;于2013年5月31日提交的、名称为“METHOD TO OBTAIN  $\text{SiC}$  CLASS OF FILMS OF DESIRED COMPOSITION AND FILM PROPERTIES”的美国专利申请No.13/907,699,律师档案号LAMRP046/3149;名称为“GROUND STATE HYDROGEN RADICAL SOURCES FOR CHEMICAL VAPOR DEPOSITION OF SILICON-CARBON-CONTAINING FILMS”的美国专利申请No.14/062,648;以及于2014年2月28日提交的、名称为“CAPPED ALD FILMS FOR DOPING FIN-SHAPED CHANNEL REGIONS OF 3-D IC TRANSISTORS”的美国专利申请No.14/194,549;这些专利文献中的每一个的全部内容基于所有目的通过引用并入本发明。

[0151] 经由ALD沉积膜的其它实例包括在上文所列出且通过引用并入的专利申请(美国专利申请No.13/084,399、13/242,084、13/224,240、以及14/194,549)中描述的用于沉积含掺杂剂膜的化学物质。如其中所述,可以使用各种含掺杂剂的膜前体来形成含掺杂剂的膜,例如硼掺杂硅酸盐玻璃(BSG)的膜、磷掺杂硅酸盐玻璃(PSG)的膜、硼磷掺杂硅酸盐玻璃(BPSG)的膜、砷(As)掺杂的硅酸盐玻璃(ASG)的膜等。含掺杂剂的膜可以包括 $\text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{B}_2\text{O}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{P}_2\text{O}_3$ 、 $\text{As}_2\text{O}_3$ 、 $\text{As}_2\text{O}_5$ 等。因此,具有除硼以外的掺杂剂的含掺杂剂的膜是可行的。实例包括镓、磷或砷掺杂剂或适于掺杂半导体衬底的其它元素,例如其它价态III和V族元素。

[0152] 对于ALD工艺条件,ALD工艺可以在各种温度下进行。在一些实施方式中,ALD反应室内的合适温度可以介于约25℃和450℃之间,或介于约50℃和300℃之间,或介于约20℃和400℃之间,或介于约200℃和400℃之间,或介于约100℃和350℃之间。

[0153] 同样,ALD工艺可在各种ALD反应室压强下进行。在一些实施方式中,反应室内的合适压强可介于约10毫托与10托之间,或介于约20毫托与8托之间,或介于约50毫托与5托之间,或介于约100毫托与2托之间。

[0154] 各种RF功率电平如果在操作(iii)中使用,则可以采用来产生等离子体。在一些实施方式中,合适的RF功率可以介于约100W和10kW之间,或者介于约200W和6kW之间,或者介于约500W和3kW之间,或者介于约1kW和2kW之间。

[0155] 在操作(i)中可以采用各种膜前体流率。在一些实施方式中,合适的流率可以为约0.1mL/min至10mL/min或介于0.1mL/min至10mL/min之间,或约0.5mL/min和5mL/min或介于0.5mL/min和5mL/min之间,或约1mL/min和3mL/min或介于1mL/min和3mL/min之间。

[0156] 在各种操作中,可以使用各种气体流率。在一些实施方式中,一般气体流率可以为约1L/min和20L/min或介于1L/min和20L/min之间,约2L/min和10L/min或介于2L/min和10L/min之间。对于操作(ii)和(iv)中任选的惰性清扫步骤,所用的突发流率可以为约20L/min和100L/min或介于20L/min和100L/min之间,或约40L/min和60L/min或介于40L/min和

60L/min之间。

[0157] 再次,在一些实施方式中,抽排到基压步骤是指通过将反应室直接暴露于一个或多个真空泵而将反应室抽排到基本压强。在一些实施方式中,基本压强通常可以只有几毫托(例如,介于约1和20毫托之间)。此外,如上所述,抽排到基压步骤可以伴随或可以不伴随惰性清扫,因此当一个或多个阀打开通向真空泵的传导路径时,载气可以流动或可以不流动。

[0158] 此外,再次,可重复多个ALD循环以建立堆叠的共形层。在一些实施方式中,每一层可具有基本上相同的组成,而在其它实施方式中,按顺序ALD沉积的层可以具有不同的组成,或在某些这样的实施方式中,组成可一层一层地交替变换或可以存在具有不同组成的重复序列层,如上所述。因此,根据实施方式,可以使用诸如在上面所列出且通过引用并入的专利申请(美国专利申请No.13/084,399、13/242,084以及13/224,240)中公开的那些堆叠设计构思之类的某些堆叠设计构思来调整这些膜中的硼、磷或砷的浓度。

#### 吊灯型喷头和喷头套环的详细说明

[0159] 在ALD工艺中,膜前体通常需要在反应室内交替存在,然后被抽空。为了防止寄生沉积,在引入下一种前体之前,从处理室和共享的前体通路(如喷头的杆部内)除去在处理室中的过量的前体。通常通过用惰性气体清扫传送通路和室进行过量的前体的除去。但是,当使用吊灯型喷头时,从喷头的头部的底表面流到室内的清扫气体(其与等离子体原料气体相同)不能够有效地除去存在于例如该喷头的背部和/或后面、杆的周围的过量的前体。因此,在喷头的后面、顶板和/或处理室壁上会出现值得重视的数量的寄生沉积。用固体电介质填充喷头的背部和/或后面的死角通常是不可行的和/或不是所期望的,因为这常常和/或可能会引起RF耦合接地。因此,如上所述,帘式气体(其主要目的是在处理站之间流动并因此在它们之间提供一定程度的体积分离)可以被引入到喷头后面的处理室内,使得除了提供所述体积分离,帘式气体的流动也可以用于防止喷头后面的寄生沉积。现在将详细地描述用于实现这种帘式气体的释放的硬件:

[0160] 现在参照图6,显示了包括具有喷头670的处理室660的衬底处理系统650的示例。喷头670包括杆部672和头部674。头部674限定内腔675。例如前体、或等离子体原料气体或清扫气体(后两者可能就是同一种)之类的流体流过杆部672,到分散板676上并进入内腔675内。流体然后穿过在喷头的头部674的底表面中的孔/间隔的通孔678并进入处理室。

[0161] 喷头670的杆部672通过喷头套环680连接到处理室660的顶壁。喷头套环680具有大致“T”形横截面,并且包括头部681和杆部683。喷头套环680限定了内腔684,其为圆筒形并且容纳喷头670的杆部672。多个槽形孔686形成在杆部683中,以使得帘式气体能从内腔684流动到喷头套环的杆部683的外表面。从图6中的槽形孔的取向以及在图3和图4所示的流动管线320可以看出,帘式气体可以沿着基本上平行于衬底的平面并且也基本上平行于喷头的头部的底表面的平面的方向流过喷头套环中的孔并进入处理室内。

[0162] 流体连接器690可以连接到喷头套环680的头部691的边缘,并且用于供应诸如帘式气体之类的流体。流体连接器690包括一个或多个导管和/或连接器,其总体上标记为692。喷头套环680的头部681同样包括导管和/或连接器(总体上标记为693)以引导流体(例如帘式气体)流到喷头套环680的内腔684。

[0163] 帘式气体可以通过帘式气体源695供应到喷头套环680,例如到流体连接器690。

[0164] 板700被布置在喷头670的头部674和喷头套环680之间。板700包括上表面704,定心开口或定心孔710,以及底表面714。在一些示例中,板700由陶瓷制成。板700的厚度可以被选择为使材料和电容性耦合接地或寄生等离子体最小化。板700的上表面704与喷头套环680的底部边缘间隔开,以允许流体在两者之间通过。定心孔710也与杆部672间隔开,以允许流体在两者之间通过。板的底表面714与喷头670的上表面间隔开,以允许流体在两者之间通过。在一些示例中,板700可被省略,并且处理室可以在没有板700的情况下进行操作。

[0165] 流过与各种处理站的喷头相关联的喷头套环的杆部中的孔进入处理室的帘式气体显著减少和/或抑制处理室的偏远区域(例如在喷头的背面)中的不期望有的杂散沉积。可以选择槽和其它缝隙的尺寸,以防止等离子体在其中点燃并且以使得佩克莱特条件能得到满足,以防止反向扩散,从而得到所期望的气体流率。

[0166] 现在参照图7,示出了喷头套环680的示例。喷头套环680包括头部681和杆部683。槽686可以具有弓形形状,并且可以围绕杆部683布置。槽686使得流体能从内腔684通过槽686流动。头部681可包括配合部分718,配合部分718与在流体连接器690上的相应配合部分配合。喷头套环680的导管693与流体连接器690的导管692在连接时对准。

[0167] 现在参照图8,示出了喷头套环680的流体连接器690的示例。虽然流体连接器690被示为包括第二配合部720、导管730、连接器732、导管734,以及连接器736,但是流体连接器的其它配置也是预期的。

[0168] 现在参照图9A和9B,其示出了板700的示例。在图9A中,板700的上表面704被示出为具有大致圆形的横截面和布置在板700的中心的定心孔710。定心孔710包括从定心孔710向内径向延伸的一个或多个突起740。突起740使得在板700和杆部672之间有均匀的间距。在图9B中,板700的底表面714被示出包括相对于处理室的顶部向下延伸的突起744。突起744在板700的底表面714与喷头670的头部674的上表面之间设置均匀间隔。还指出,RF隔离/抑制装置可以减少喷头后面的腔中的电场,这也可以有助于进一步降低喷头后面的区域中的寄生等离子体产生的可能性或程度。例如,突起740和744可将间距设置成足够接近以减少寄生等离子体产生,例如如果采用约3毫米或更小的间距。对于典型的工艺条件,这样的间距导致不足够用于等离子体形成以及等离子体鞘形成的空间(少于两个等离子体鞘的长度)。等离子体的形成可受到等离子体密度、等离子体电子温度、以及跨越鞘的电压的影响。当然,如上面详细讨论的,使用Ar和O<sub>2</sub>的混合物作为从喷头套环排出的帘式气体对于防止/最小化寄生等离子体产生(以及改善沉积的膜的均匀性)是一种有效的技术。



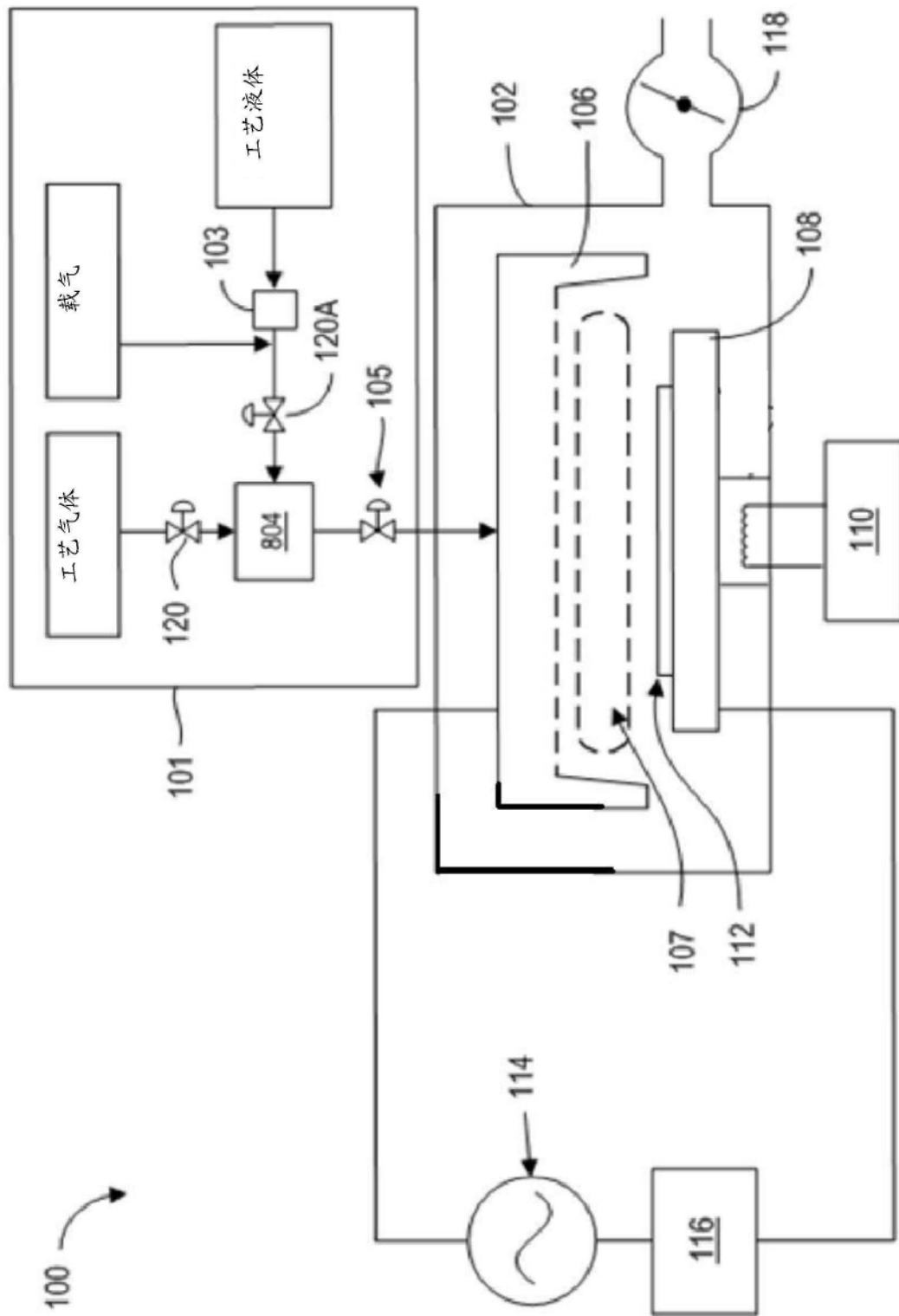


图1

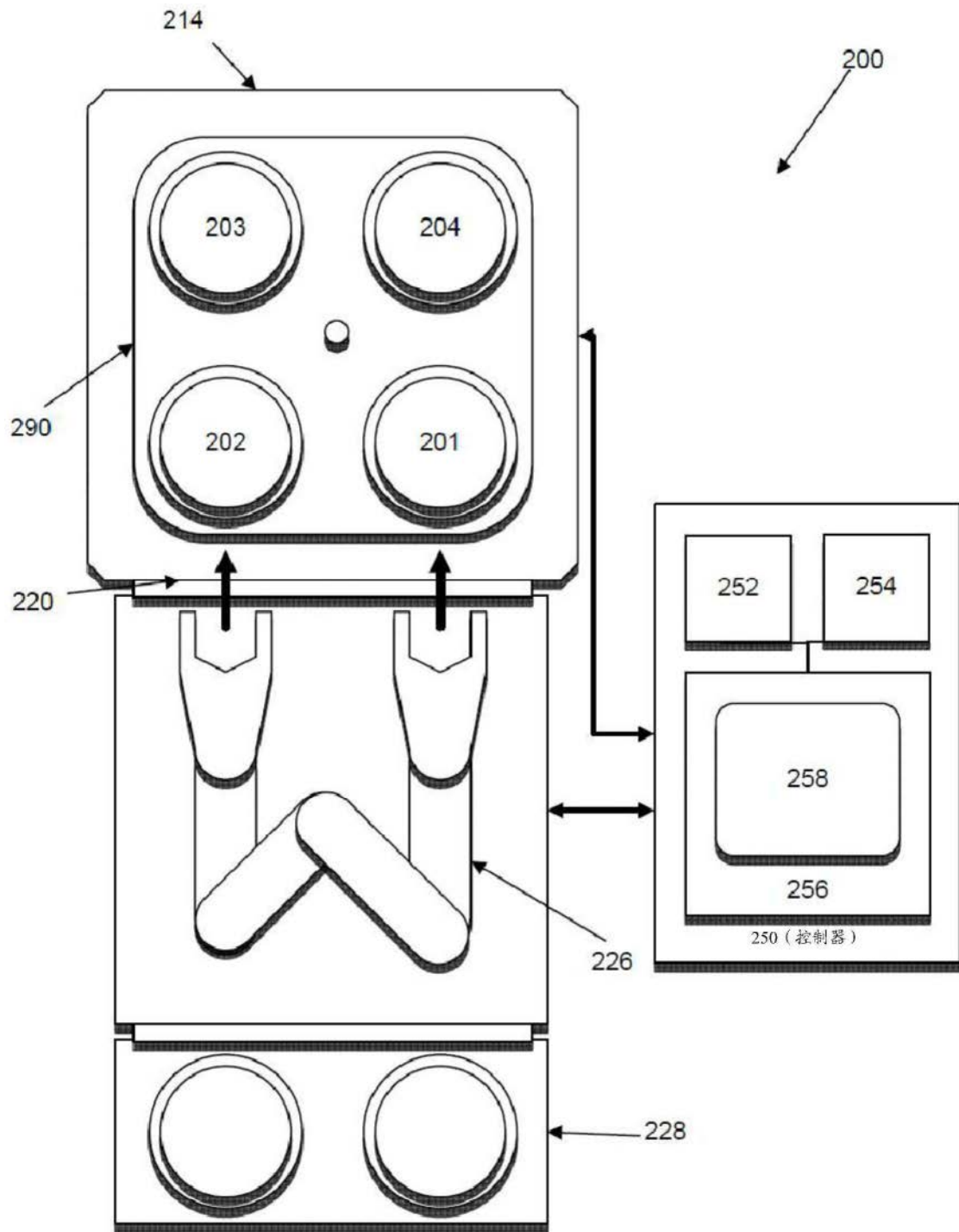


图2



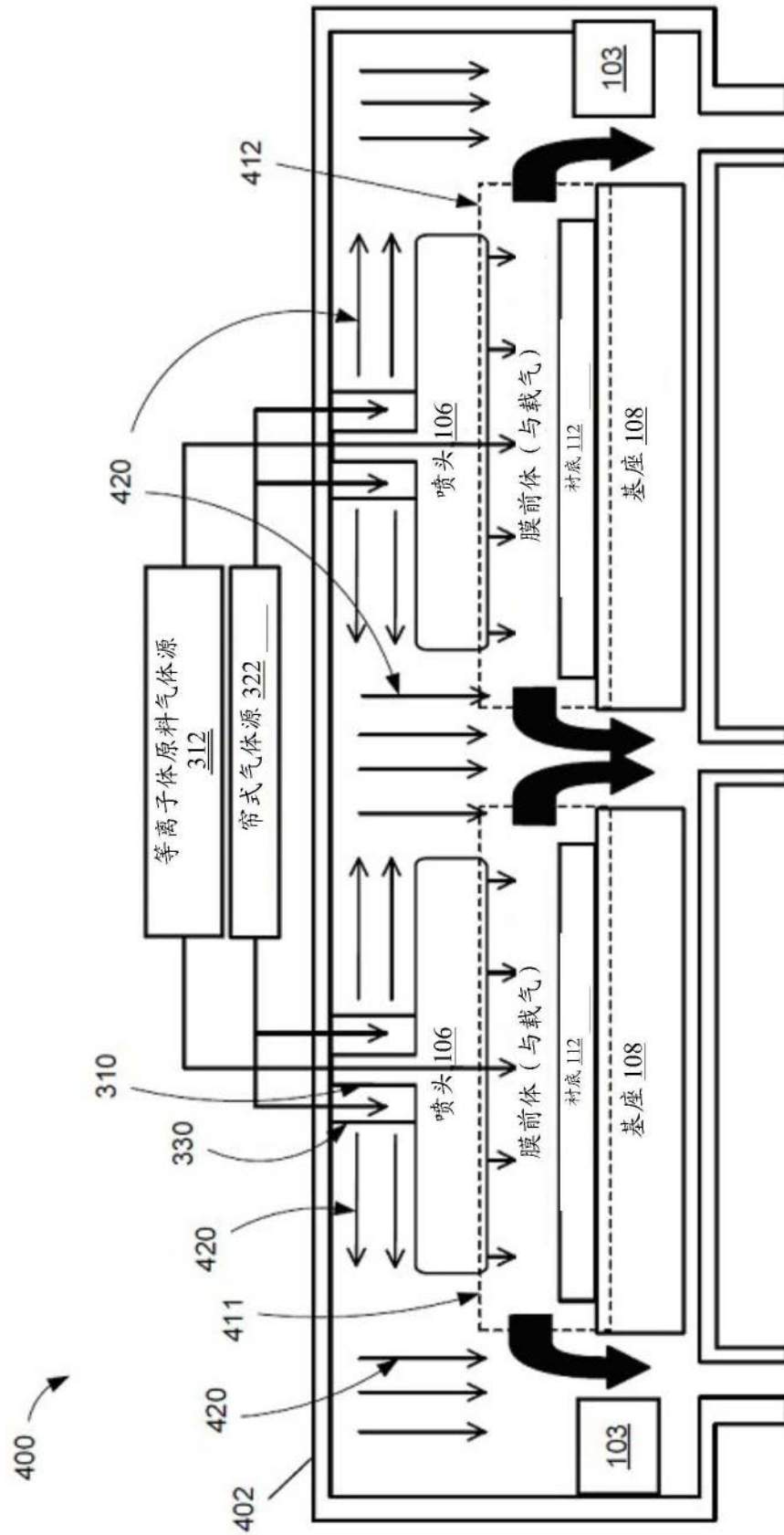


图4

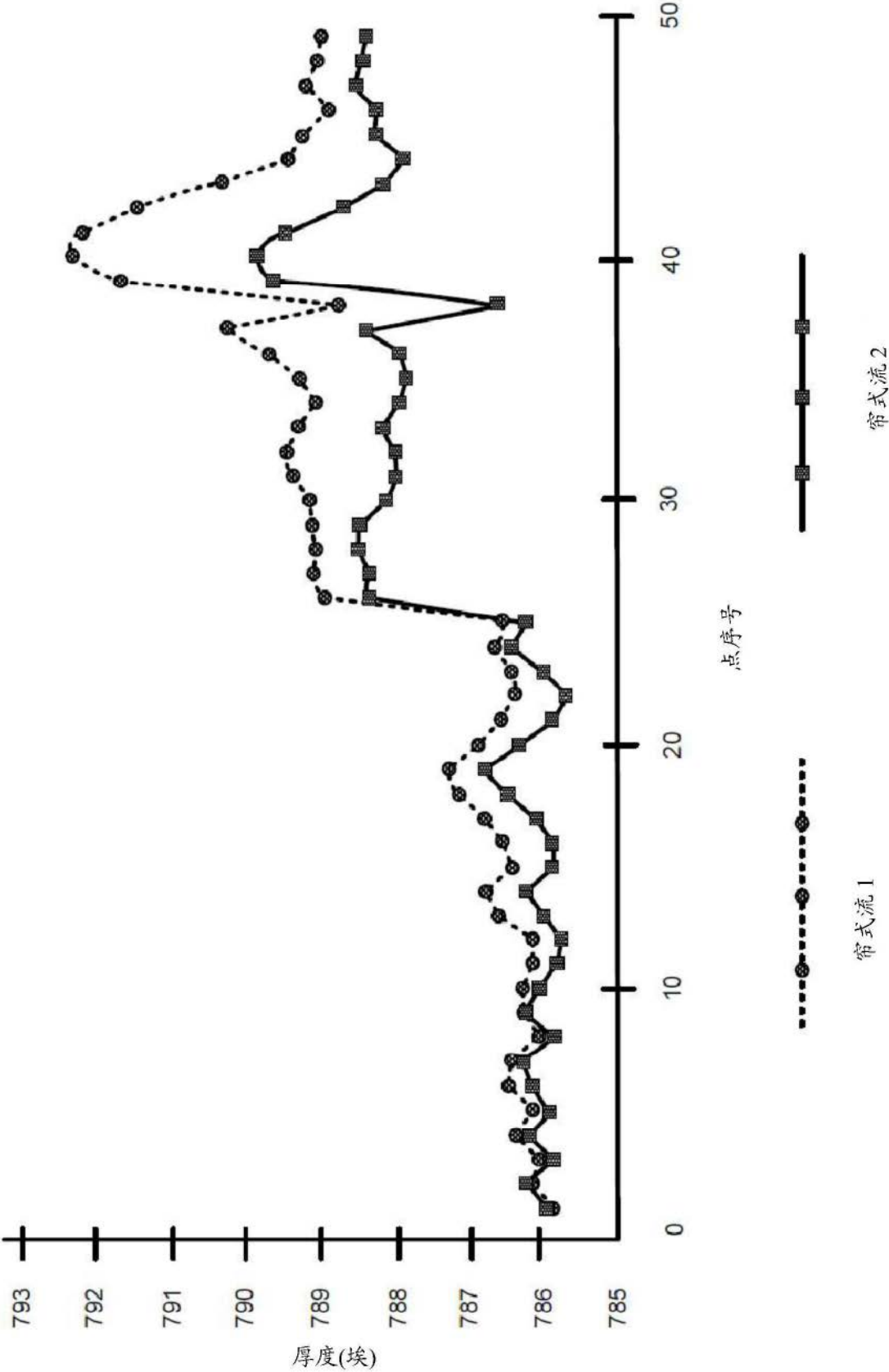


图5

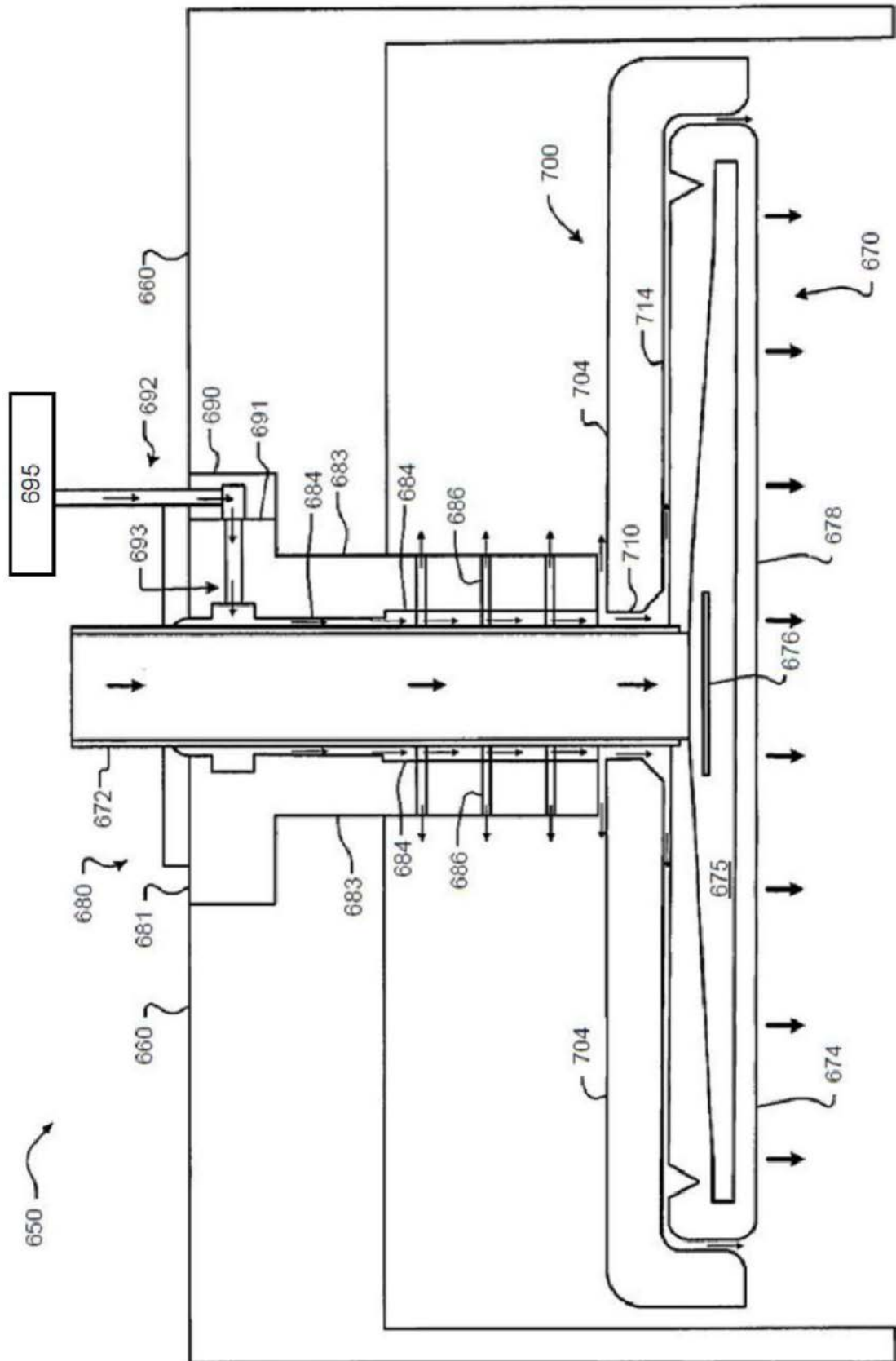


图6

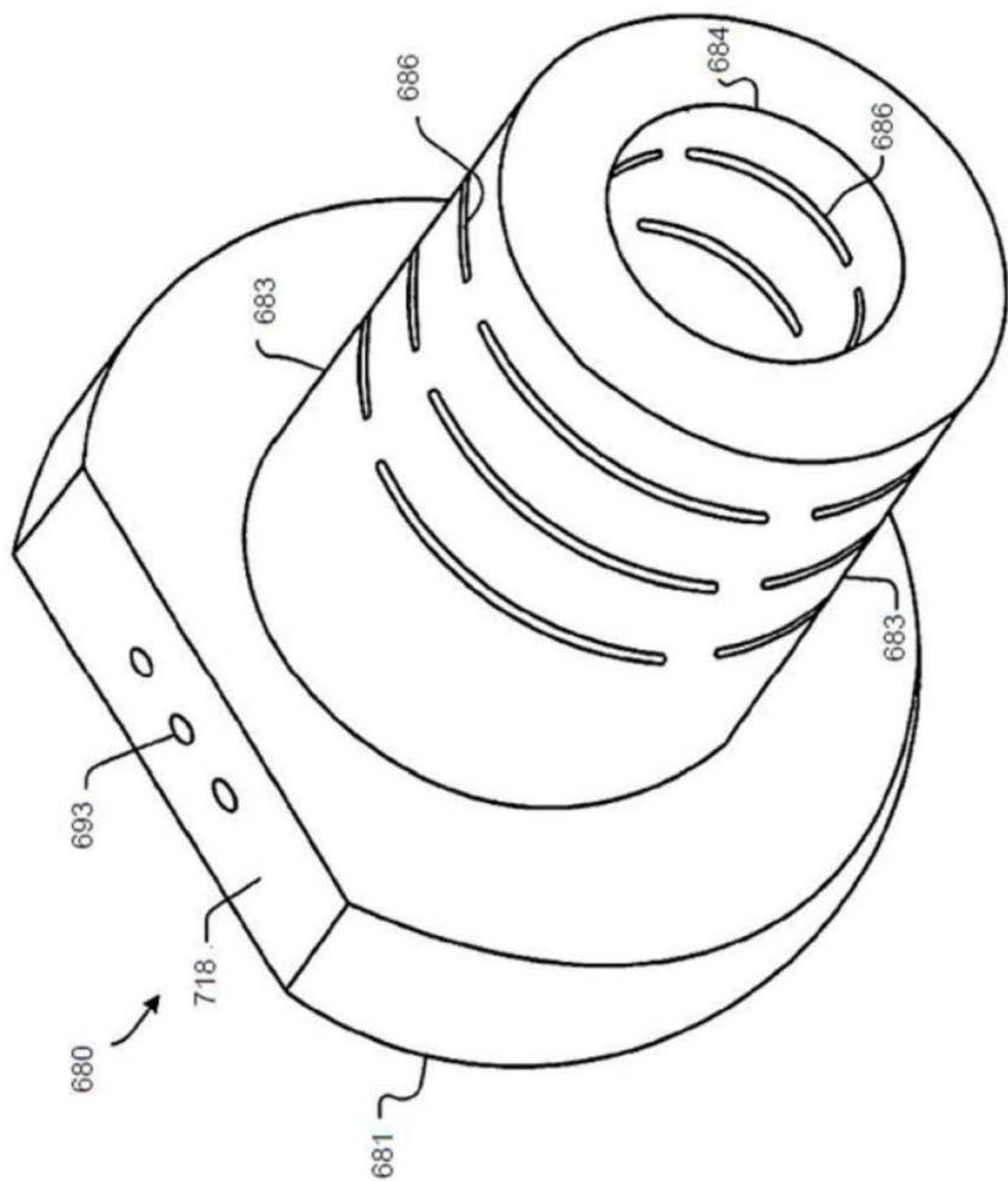


图7

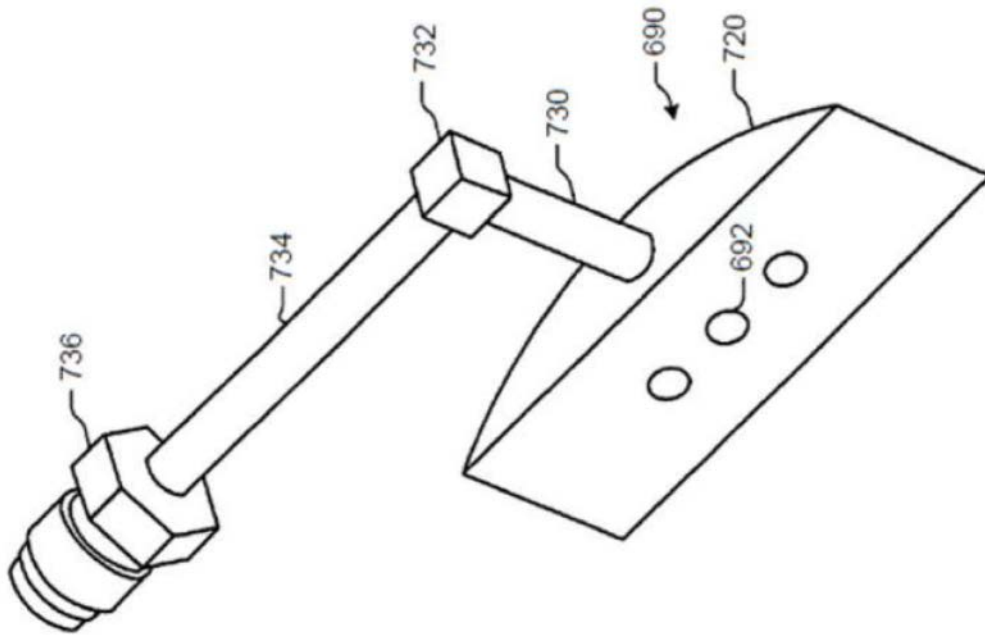


图8

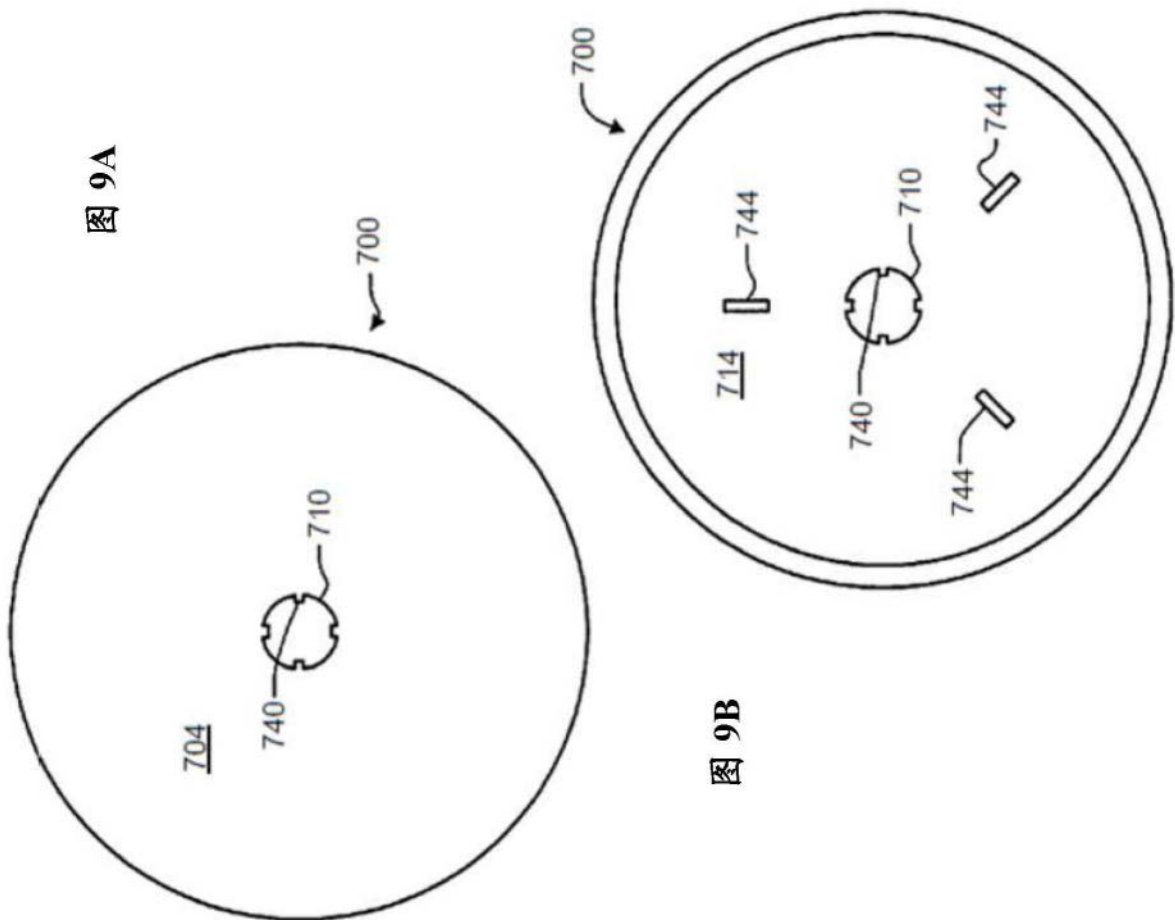


图 9A

图 9B



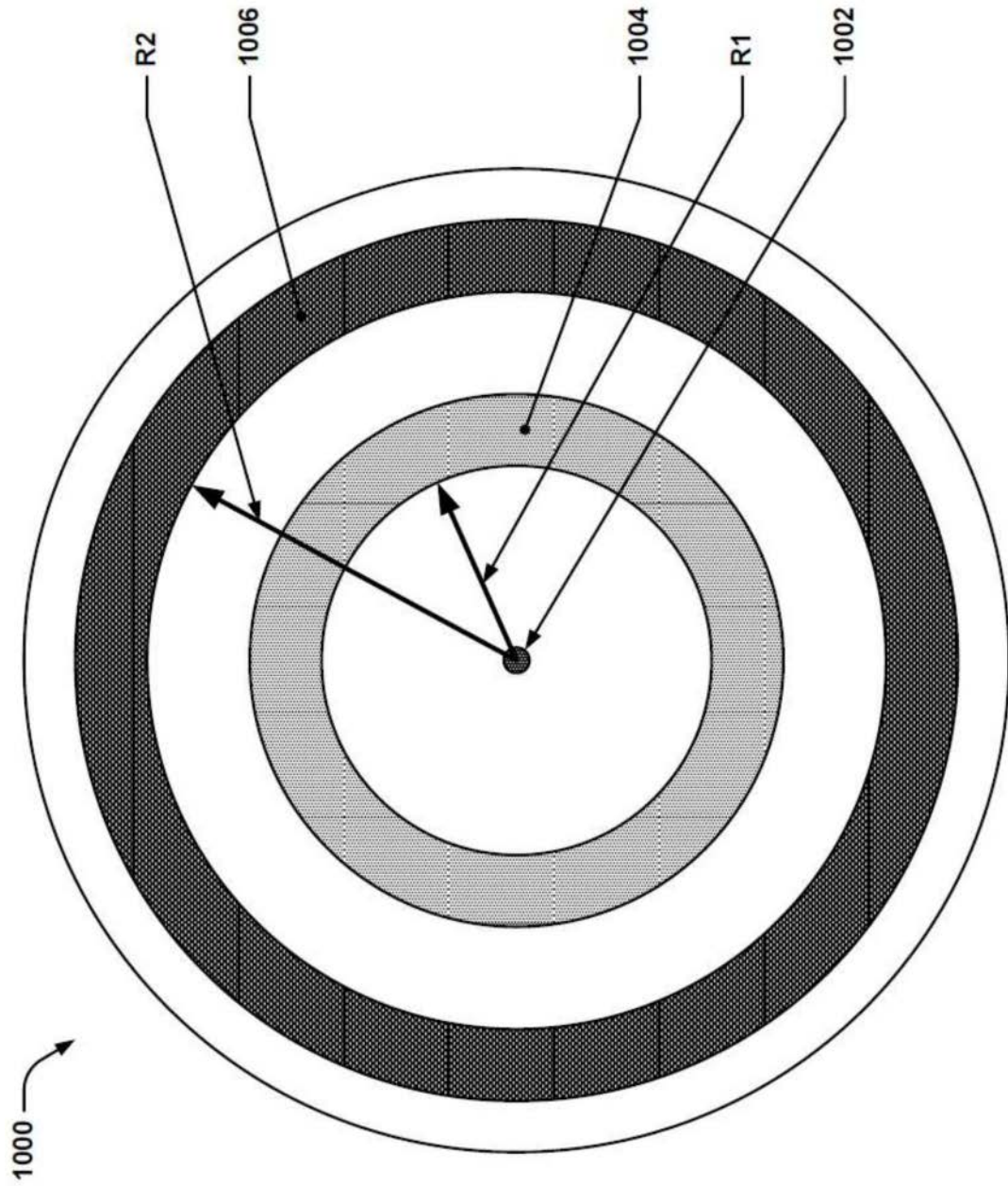


图10

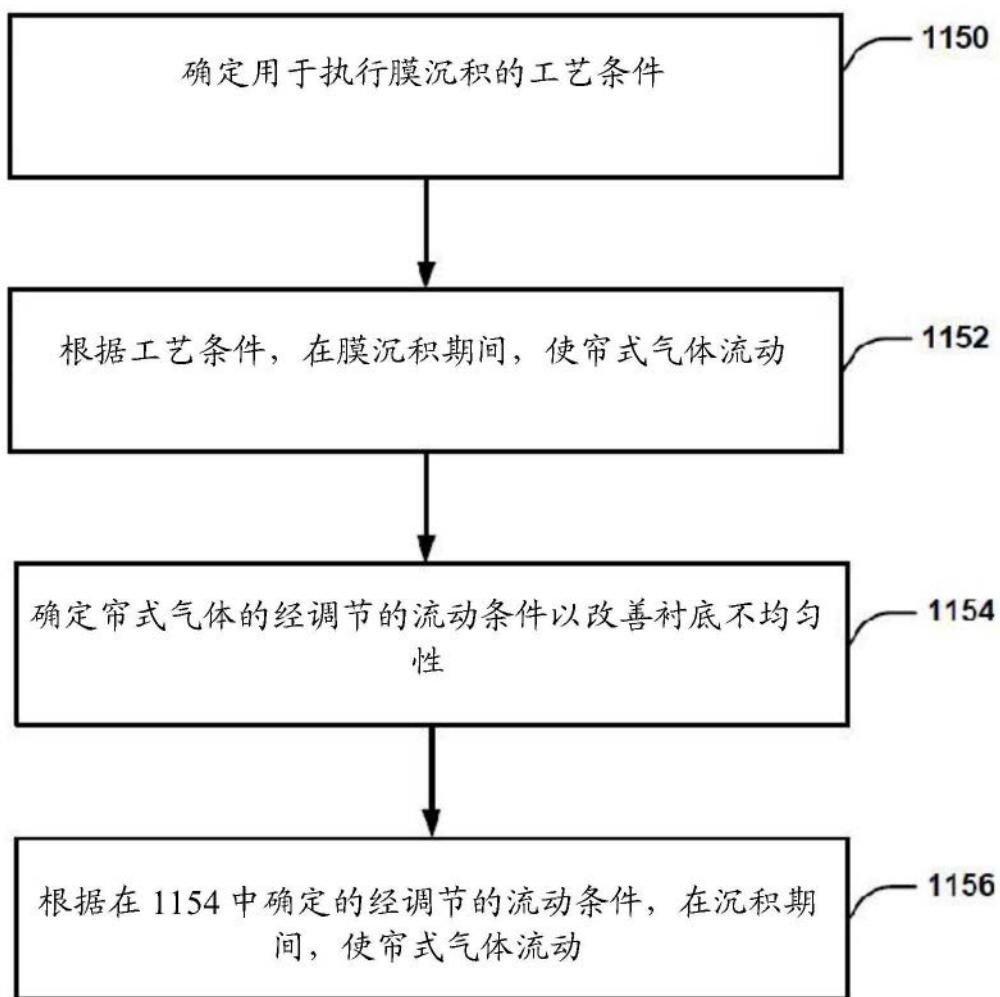


图11

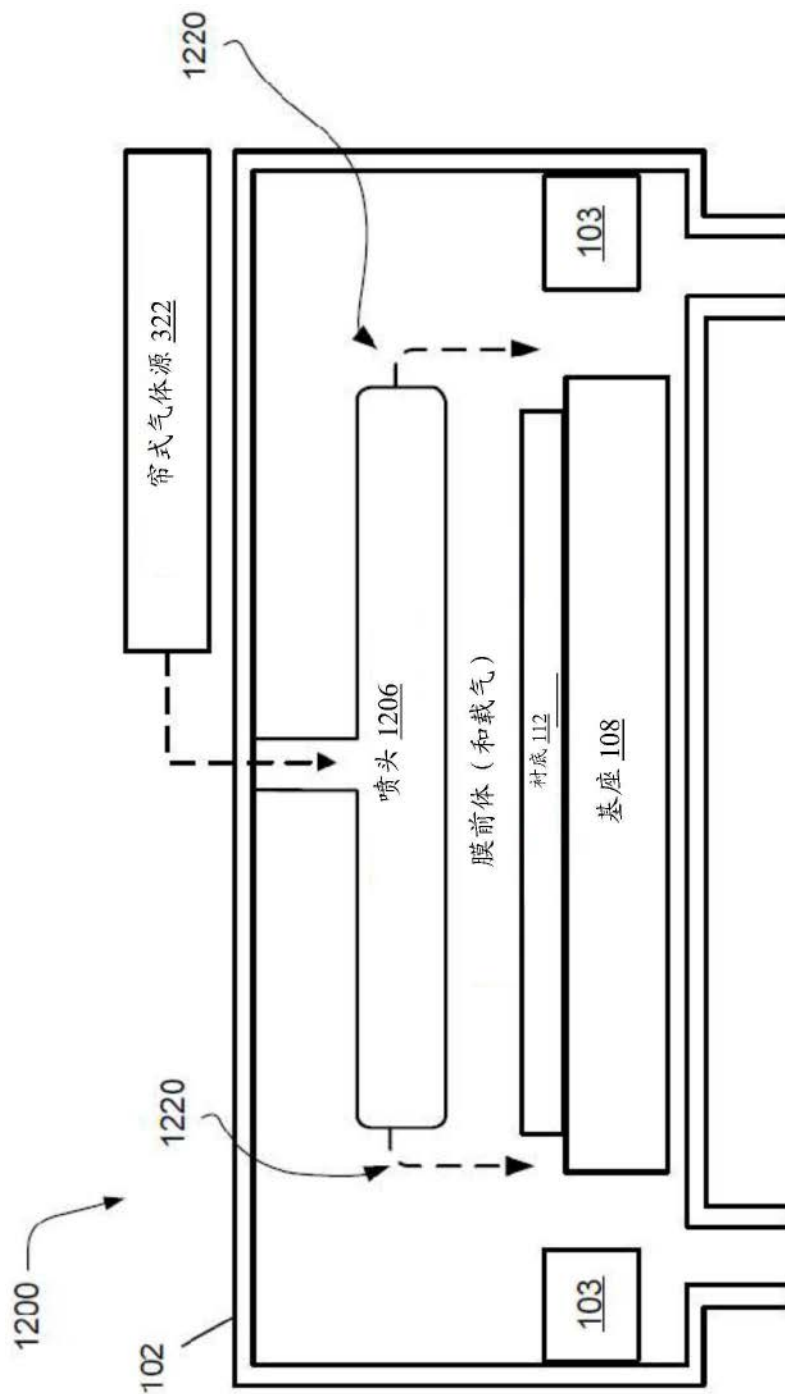


图12

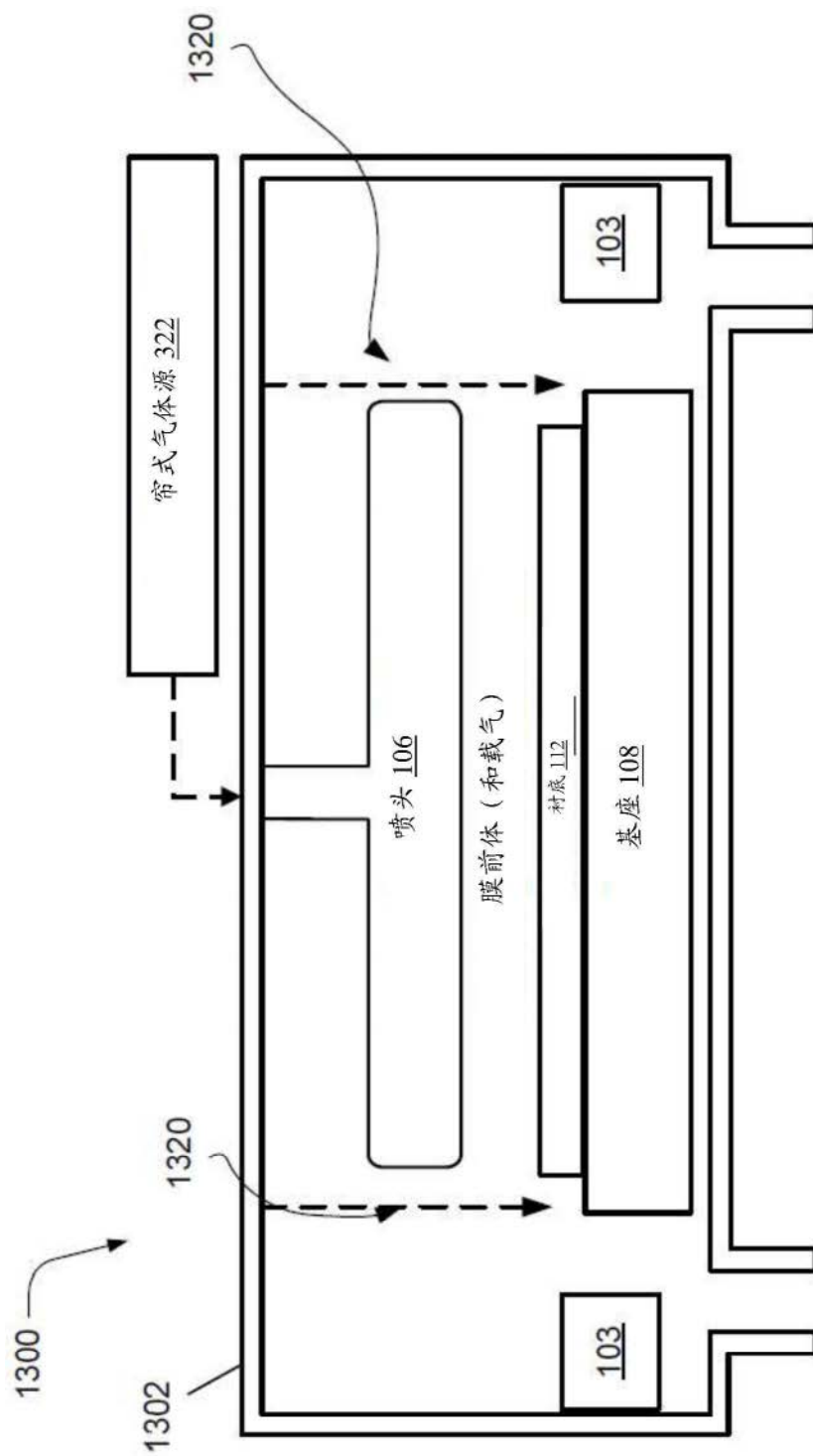


图13

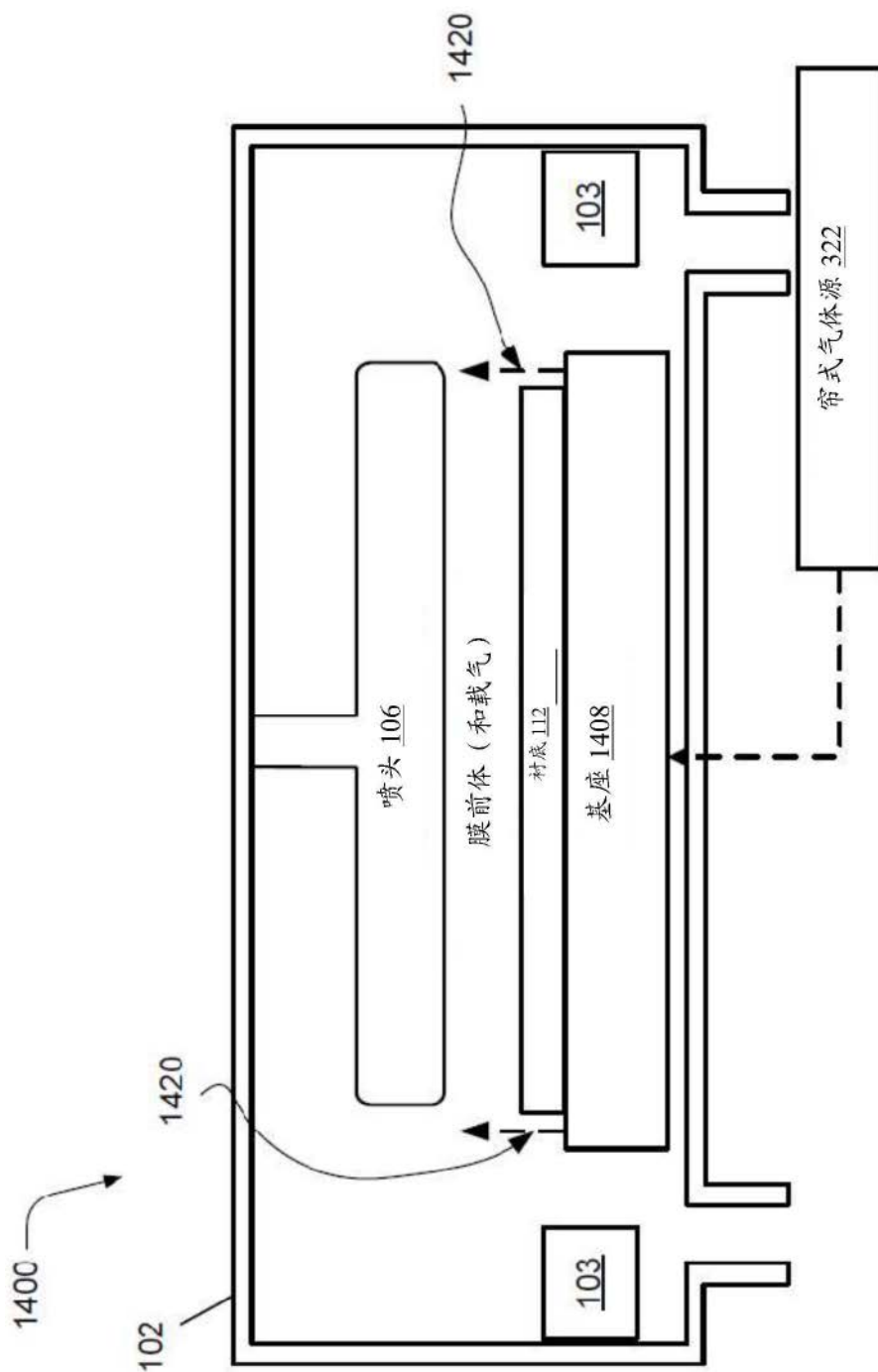


图14