



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105590826 B

(45)授权公告日 2018.08.03

(21)申请号 201510776969.2

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2015.11.12

H01J 37/32(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

(56)对比文件

申请公布号 CN 105590826 A

US 2012/0095586 A1,2012.04.19,

US 2012/0095586 A1,2012.04.19,

(43)申请公布日 2016.05.18

CN 103748658 A,2014.04.23,

(30)优先权数据

CN 102084468 A,2011.06.01,

14/539,121 2014.11.12 US

审查员 李荣荣

(73)专利权人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 安德烈亚斯·菲舍尔

索斯滕·利尔

(74)专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

代理人 樊英如 李献忠

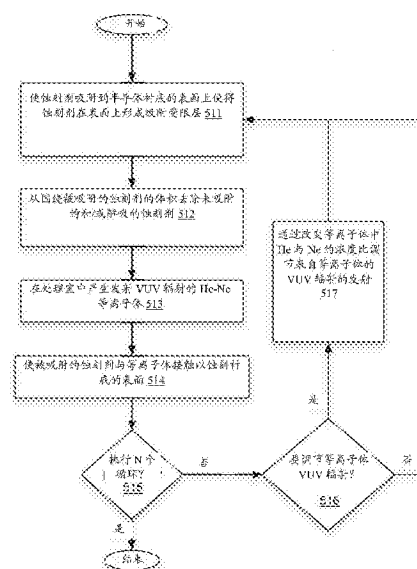
权利要求书3页 说明书21页 附图10页

(54)发明名称

经碰撞谐振能转移到能量吸附气体调整等离子体的VUV发射

(57)摘要

本发明涉及经碰撞谐振能转移到能量吸附气体调整等离子体的VUV发射。公开了在半导处理室中调整来自等离子体的真空紫外(VUV)辐射的发射的方法。所述方法可包括在处理室中产生等离子体,所述等离子体包括VUV发射物气体和碰撞能量吸收物气体,以及通过改变所述等离子体中的VUV发射物气体与碰撞能量吸收物气体的浓度比来调整来自所述等离子体的VUV辐射的发射。在一些实施方式中,所述VUV发射物气体可以是氦而所述碰撞能量吸收物气体可以是氖,且在一些这样的实施方式中,调整VUV发射可包括使氦和/或氖按一定比例流入所述处理室中以改变所述等离子体中的氦与氖的浓度比。此外,本发明还公开了执行上述方法的装置。



1. 一种在半导体处理室中调整来自等离子体的真空紫外 (VUV) 辐射的发射的方法, 所述方法包括:

在所述处理室中产生等离子体, 所述等离子体包括含有氦 (He) 的 VUV 发射物气体和含有氩 (Ar) 的碰撞能量吸收物气体, 所述等离子体发射 VUV 辐射; 以及

通过改变所述等离子体中的所述 VUV 发射物气体与碰撞能量吸收物气体的浓度比来调整来自所述等离子体的 VUV 辐射的发射。

2. 如权利要求 1 所述的方法, 其中所述 VUV 发射物气体是氦。

3. 如权利要求 2 所述的方法, 其中所述碰撞能量吸收物气体是氩。

4. 如权利要求 3 所述的方法, 其中调整来自所述等离子体的 VUV 辐射的发射包括使氦和/或氩按一定比例流入所述处理室中以改变所述等离子体中的氦与氩的浓度比。

5. 如权利要求 4 所述的方法, 其中来自所述等离子体的 VUV 辐射的发射通过使氦流入所述处理室中以提高所述等离子体中的氦与氩的比例来调高。

6. 如权利要求 4 所述的方法, 其中来自所述等离子体的 VUV 辐射的发射通过使氩流入所述处理室中以降低所述等离子体中的氦与氩的比例来调低。

7. 如权利要求 4 所述的方法, 其进一步包括:

测量所述等离子体和/或衬底的性质; 以及

响应于测得的所述性质设置氦和/或氩到所述处理室中的流。

8. 如权利要求 7 所述的方法, 其中所述性质是来自所述等离子体的激活状态的物质的发射带的发射强度。

9. 如权利要求 8 所述的方法, 其中所测得的所述发射带是氩的集中在 632.8nm 的发射带。

10. 如权利要求 7 所述的方法, 其中所述性质是用测量工具测得的半导体衬底的所蚀刻的特征的轮廓, 所述特征已在所述处理室中被蚀刻。

11. 如权利要求 10 所述的方法, 其中响应于所述所蚀刻的特征的侧壁的测得的弯曲而减小氦的流和/或增大氩的流。

12. 如权利要求 1-11 中任一项所述的方法, 其中所述等离子体是电容耦合等离子体。

13. 如权利要求 12 所述的方法, 其中所述半导体处理室是电容耦合等离子体反应器的一部分, 所述等离子体在所述半导体处理室中被产生, 所述反应器具有上板, 所述反应器被配置使得所述上板和所述衬底之间的间隙在 1.5cm 和 2.5cm 之间。

14. 如权利要求 1-11 中任一项所述的方法, 其中所述等离子体是电感耦合等离子体, 其中所述半导体处理室是电感耦合等离子体反应器的一部分, 所述等离子体在所述半导体处理室中被产生, 所述电感耦合等离子体反应器具有间隙区, 所述等离子体在所述间隙区中被产生, 且其中所述反应器包括位于所述间隙区内的提供一定结构的一或多个部件, 氩原子能对着所述结构碰撞并被碰撞去激励。

15. 如权利要求 14 所述的方法, 其中提供用于氩的去激励的所述结构的所述一或多个部件包括成组的同心圆筒, 所述成组的同心圆筒被定位成它们的中心轴与所述衬底的平面垂直。

16. 一种在半导体衬底的表面上蚀刻特征的方法, 所述方法包括:

(a) 将蚀刻剂吸附到半导体衬底的表面上使得所述蚀刻剂在所述表面上形成吸附受限

层；

(b) 在 (a) 之后，从围绕所吸附的所述蚀刻剂的体积去除未吸附和/或解吸的蚀刻剂；

(c) 在 (b) 之后，在处理室中产生等离子体，所述等离子体包括含有氦 (He) 的VUV发射物气体和含有氖 (Ne) 的碰撞能量吸收物气体，所述等离子体发射VUV辐射；

(d) 使所吸附的所述蚀刻剂与所述等离子体接触以蚀刻所述衬底的所述表面；以及

(e) 重复 (a) - (d) 多次并在 (d) 中通过改变所述等离子体中的氦与氖的浓度比从而改变所述衬底的所述表面的蚀刻的各向异性来调整来自所述等离子体的VUV辐射的发射。

17. 如权利要求16所述的方法，其中所述蚀刻剂包括氯。

18. 如权利要求16-17中任一项所述的方法，其中调整来自所述等离子体的VUV辐射的发射包括使氦和/或氖按一定比例流入所述处理室中以便改变所述等离子体中的氦与氖的浓度比。

19. 如权利要求18所述的方法，其进一步包括：

用测量工具测量所述半导体衬底的所蚀刻的特征的轮廓；以及

响应于测得的所述轮廓设置氦和/或氖到所述处理室中的流。

20. 一种半导体处理装置，其包括：

处理室；

等离子体发生器；

被配置用于使氦和氖流入所述处理室中的一或多个气流入口；以及

包括机器可读指令的控制器，所述机器可读指令用于：

操作所述等离子体发生器以在所述处理室中产生等离子体，所述等离子体包括含有氦 (He) 的VUV发射物气体和含有氖 (Ne) 的碰撞能量吸收物气体，所述等离子体发射VUV辐射；以及

操作所述一或多个气流入口以通过使氦和/或氖按一定比例流入所述处理室中以便改变所述等离子体中的氦与氖的浓度比来调整来自所述等离子体的VUV辐射的发射。

21. 如权利要求20所述的半导体处理装置：

其中所述装置还包括光检测器；以及

其中所述控制器的所述机器可读指令还包括用于以下事项的指令：

操作所述光检测器以测量所述等离子体的发射带的发射强度；以及

操作所述一或多个气流入口以响应于测得的所述发射强度设置氦和/或氖到所述处理室中的流率。

22. 如权利要求20-21中任一项所述的半导体处理装置：

其中所述一或多个气流入口还被配置成用于使蚀刻剂气体流入所述处理室中；

其中所述装置还包括：

真空泵；

至所述真空泵的阀控制的导管；和

用于测量半导体衬底的特征的蚀刻轮廓的测量工具；以及

其中所述控制器的所述机器可读指令还包括用于以下事项的指令：

操作所述一或多个气流入口以使蚀刻剂气体流入所述处理室中；

设置所述处理室中的条件使得所述蚀刻剂吸附到所述半导体衬底的表面上，从而形成

蚀刻剂的吸附受限层；

操作所述阀控制的导管和真空泵以从围绕所吸附的所述蚀刻剂的体积去除未吸附和/或解吸的蚀刻剂；

在蚀刻剂的吸附以及未吸附和/或解吸的蚀刻剂的去除之后，操作所述等离子体发生器以在所述半导体衬底上蚀刻特征；

操作所述测量工具以测量在所述半导体衬底上的所蚀刻的特征的蚀刻轮廓；以及

操作所述一或多个气流入口以响应于测得的所述蚀刻轮廓设置氮和/或氩到所述处理室中的流率。

经碰撞谐振能转移到能量吸附气体调整等离子体的VUV发射

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及半导体领域,更具体涉及经碰撞谐振能转移到能量吸附气体调整等离子体的VUV发射。

背景技术

[0002] 随着半导体工业中的器件和特征尺寸不断缩小,并随着3D器件结构(例如英特尔的三栅极晶体管架构)在集成电路(IC)设计中变得越来越普遍,沉积薄共形膜(相对于下层结构的形状(即使不是平坦的)具有均匀厚度的材料膜)的能力将越来越重要。原子层沉积(ALD)是一种膜形成技术,由于ALD的单个周期只沉积薄薄的单层材料(厚度受到一或多种膜前体反应剂的量的限制),所以ALD非常适于共形膜的沉积,所述膜前体反应剂可在膜形成化学反应本身之前吸附到衬底表面上(即,形成吸附受限层)。接着,多个“ALD周期”可被用于累积所希望的厚度的膜,且由于每个层是薄的和共形的,所以得到的膜大体上与下层器件结构的形状一致。类似地,原子层蚀刻(ALE)是一种类似于ALD的吸附介导的蚀刻技术,由于其涉及蚀刻剂的吸附受限层的反应,因此ALE可被用于可控地并选择性地以高精度水平蚀刻硅衬底,但是,与ALD一样,通常需要多个“ALE周期”来完成希望的衬底蚀刻量。因为ALD和ALE往往是等离子体激活的工艺,所以在许多周期的整个进程控制等离子体(用于激活ALD中的膜形成反应或ALE中的蚀刻反应)的特征会是非常重要的。

发明内容

[0003] 本文公开了在半导体处理室中调整来自等离子体的真空紫外(VUV)辐射的发射的方法。所述方法可包括在处理室中产生等离子体,所述等离子体包括VUV发射物气体和碰撞能量吸收物气体,以及通过改变所述等离子体中的VUV发射物气体与碰撞能量吸收物气体的浓度比来调整来自所述等离子体的VUV辐射的发射。在一些实施方式中,所述VUV发射物气体是氦,而在一些实施方式中,所述碰撞能量吸收物气体是氩。在一些实施方式中,调整来自所述等离子体的VUV辐射的发射可包括使氦和/或氩按一定比例流入所述处理室中以便改变所述等离子体中的氦与氩的浓度比。在一些实施方式中,所述方法可进一步包括测量所述等离子体和/或所述衬底的性质以及响应于测得的所述性质设置氦和/或氩到所述处理室中的流。在某些实施方式中,测得的所述性质可以是来自所述等离子体的激活状态的物质的发射带(an emission band)的发射强度。在某些实施方式中,测得的所述性质可以用测量工具测得的半导体衬底的所蚀刻的特征的轮廓,所述特征已在所述处理室中被蚀刻。在一些实施方式中,其VUV发射被调整的等离子体是电容耦合等离子体。

[0004] 此外,本文还公开了半导体处理装置,在该半导体处理装置中,VUV发射等离子体被产生且其VUV发射被调整。所述装置可包括处理室、等离子体发生器、被配置用于使氦和氩流入所述处理室中的一或多个气流入口以及用于控制所述装置的操作的控制器。在一些实施方式中,所述控制器可包括机器可读指令,所述机器可读指令用于操作所述等离子体发生器以在所述处理室中产生VUV发射等离子体,所述等离子体包括氦和氩,以及操作所述

一或多个气流入口以通过使氦和/或氩按一定比例流入所述处理室中以便改变所述等离子体中的氦与氩的浓度比来调整来自所述等离子体的VUV辐射的发射。

[0005] 在一些实施方式中,所述装置可进一步包括光检测器,且所述控制器的机器可读指令可进一步包括用于以下事项的指令:操作所述光检测器以测量所述等离子体的发射带的发射强度,以及操作所述一或多个气流入口以响应于测得的所述发射强度设置氦和/或氩到所述处理室中的流率。

[0006] 在一些实施方式中,所述一或多个气流入口可进一步被配置用于使蚀刻剂气体流入所述处理室中,且所述装置可进一步包括真空泵、至所述真空泵的阀控制的导管。在某些这样的实施方式中,所述控制器的机器可读指令可进一步包括用于操作所述一或多个气流入口以使蚀刻剂气体流入所述处理室中的指令,以及用于设置所述处理室中的条件使得所述蚀刻剂吸附到所述半导体衬底的表面上形成蚀刻剂的吸附受限层的指令。所述控制器的机器可读指令可进一步包括用于以下事项的指令:操作所述阀控制的导管和真空泵以从围绕所吸附的所述蚀刻剂的体积去除未吸附和/或解吸的蚀刻剂,以及,在蚀刻剂的吸附以及未吸附和/或解吸的蚀刻剂的去除之后,操作所述等离子体发生器以在所述半导体衬底上蚀刻特征。

[0007] 在一些实施方式中,所述装置可进一步包括用于测量半导体衬底的特征的蚀刻轮廓的测量工具。在某些这样的实施方式中,所述控制器可进一步包括用于以下事项的指令:操作所述测量工具以测量在所述半导体衬底上的所蚀刻的特征的蚀刻轮廓,以及操作所述一或多个气流入口以响应于测得的所述蚀刻轮廓设置氦和/或氩到所述处理室中的流率。

附图说明

[0008] 图1示意性地示出了用于蚀刻半导体衬底的表面的原子层蚀刻(ALE)方法。

[0009] 图2给出了氦气和氩的能级图,其图解了氩的激发态与氦的激发态在能量方面排列,因此可诱导从氦到氩的谐振能量转移。

[0010] 图3描绘了来自具有大约1英寸的小室间隙的电容耦合等离子体(CCP)反应器中产生的氦-氩等离子体的氩的632.8nm线的发射强度。具体地说,在4个不同的室的压强(对应于4个不同的氩分压)下,相对于流入CCP反应器中的氦流量,描绘了氩的632.8nm的发射强度。

[0011] 图4描绘了来自具有大约6英寸的大室间隙的电感耦合等离子体(ICP)反应器中产生的氦-氩等离子体的氩的632.8nm线的发射强度。具体地说,在4个不同的室的压强(对应于4个不同的氩分压)下,相对于流入ICP反应器中的氦流量,描绘了氩的632.8nm的发射强度。

[0012] 图5是采用真空紫外光辐射调节和/或控制过程的原子层蚀刻(ALE)的流程图。

[0013] 图6A-图6C是适合于实现本文描述的各种方法的ALE的电容耦合等离子体(CCP)反应器的示意图。

[0014] 图7是适合于实现本文描述的各种ALE工艺的电感耦合等离子体(ICP)反应器的示意图。

[0015] 图8是适合于实现本文描述的各种ALE处理的衬底处理群集工具的示意图。

具体实施方式

[0016] 在以下描述中,阐述了许多具体细节以便提供对本发明的全面理解。然而,本发明可以在没有这些具体细节中的一些或所有的情况下实施。在其它实例中,未详细描述已知的方法操作以免不必要地使所公开的创造性方面难以理解。尽管将会结合特定实施方式描述本发明,但是应当理解,这些特定实施方式并不旨在限制本发明所公开的发明构思的范围。

[0017] 原子层蚀刻技术和操作

[0018] 现在描述用于在部分制造的半导体衬底的表面上所蚀刻的特征的蚀刻技术、操作、方法等。在一些实施方式中,蚀刻技术可使用类似于原子层沉积(ALD)的工艺,在ALD中,表面反应(在这种情况下蚀刻表面的反应)可以原子层精度进行控制。在一些实施方式中,根据其中这样的原子层蚀刻(ALE)技术导致表面反应的激活的方式,衬底特征可以被垂直地但基本上不能水平地蚀刻;例如,蚀刻操作可以蚀刻特征的底部/基部而基本上不蚀刻特征的侧壁。通过蚀刻工艺的吸附性受限特性,以及(如指出的)激活的方式使得这种选择性部分可行。在图1的各个子图(a)至(e)中所示的示意性衬底截面图示出了这样的原子层蚀刻(ALE)工艺。

[0019] 如图1(a)所示,在一些实施方式中,这样的ALE工艺可以通过下列步骤开始:引入用于蚀刻的化学物质120(即蚀刻剂物质)到处理室中,以使得蚀刻剂120被输送到衬底110的表面(由在图中向下的箭头所指示的)。在一些实施方式中,蚀刻剂可以是含卤物质,并且在某些这样的实施方式中,含氟物质如 XeF_2 、 BrF_3 、 IF_5 、 ClF_3 等。在一些实施方式中,蚀刻剂可以是含卤和碳的物质,如碳氟化合物,例如, C_4F_8 。其他的例子可以是 F_2 、 CF_4 、 CHF_3 、 CH_2F_2 、 CH_3F 。在一些实施方式中,例如,蚀刻剂可以是含氯物质,诸如氯气、四氯化碳、三氯甲烷、二氯甲烷、一氯甲烷、三氯化硼。

[0020] 在蚀刻剂120(或蚀刻剂的一部分)被引入到处理室之后,其吸附到衬底110上,使得它在表面110的顶部上形成吸附受限层。通常这种吸附受限层可被描述为大致具有单个吸附分子的均匀厚度的单层。其中,条件是使得情况是这样的:单层形成通常是化学吸附过程的结果,该化学吸附过程需要上面吸附单层的暴露表面,即在该表面上的给定点的单个吸附的原子或分子阻止在该点进一步的吸附。

[0021] 待蚀刻的蚀刻剂120的单层到表面110上的这种吸附被示意性地示于图1(b)。图1(b)示意性地示出了直接结合到衬底的表面的顶层130的蚀刻剂120。虽然在此公开的ALE方法不限于下列体系:其中在蚀刻剂120与衬底表面的顶层130之间存在实际化学结合,在一些情况下,可能会发生化学键合,如共价键合。在其他情况下,其他形式的相互吸引作用可在吸附蚀刻剂后存在于该蚀刻剂和衬底表面之间。

[0022] 在图1(a)–1(d)中蚀刻剂和衬底表面的顶层被描绘为“球”,而它们彼此的结合被描绘为“枝”,但是,应该注意的是描绘成单个“球”的每个这样的物质不应该被解释为暗示每个这样的物质必然是原子物质。相反,蚀刻剂与衬底表面的物质也可以是多个原子的分子物质,具体取决于不同的实施方式。简单的“球和枝”示图被用来提供表面吸附过程的基本示意图。还应当指出的是,尽管为简化起见,如图1(a)–1(b)所示,相同的物质被引入并随后被吸附,但吸附物质可能并不构成引入处理室中的全部蚀刻剂。换句话说,在一些实施方

式中,仅蚀刻剂的一部分可能被吸附。

[0023] 例如,如果引入到处理室的蚀刻剂是氯气,则吸附的蚀刻剂可以是原子氯(Cl)自由基或共价键合到衬底表面的氯原子。因此,在这个例子中可以说,技术上原子氯(Cl)是指进行蚀刻的物质。尽管如此,为了清楚简洁起见,引入到处理室的蚀刻剂(在本实施例中为分子Cl₂)以及实际上被吸附的物质(在本实施例中为原子Cl)在本文中均可以被称作“蚀刻剂”,应该理解该词语是指实际上吸附到表面上并造成如本文所述的蚀刻的物质的化合物,或该物质的源的化合物。

[0024] 应当注意,吸附过程可以是等离子体增强的或可通过将衬底表面暴露于中性蚀刻剂气体来实现。还应当指出的是,虽然图1(b)示意性地示出了蚀刻剂吸附到水平表面,但通常,蚀刻剂也可以被吸附到被蚀刻的衬底特征结构的侧壁。但是,对于下面描述的原因,这并不一定导致侧壁的蚀刻和潜在蚀刻。

[0025] 吸附发生后,如图1(c)所示,从处理室去除过量的未吸附的(可能包括解吸)蚀刻剂,以防止它们在蚀刻工艺的后续步骤中干扰化学吸附的物质的激活和反应(例如,潜在的并发气相反应)。在一些实施方式中,去除过量的未吸附的蚀刻剂可通过抽吸未吸附的蚀刻剂离开处理室来完成。在一些实施方式中,去除可通过用惰性气体吹扫处理室来实现。在一些实施方式中,也可以使用抽吸反应室下降到基压(a base pressure)以除去未吸附物质然后吹扫的组合序列,或反之亦然。

[0026] 一旦在衬底的表面上形成蚀刻剂的吸附受限层和从处理室中去除未吸附的前体,反应就在被吸附的蚀刻剂和蚀刻剂被吸附到其上的表面的顶层之间被激活。如图1(d)所示,这导致蚀刻掉表面的一部分。图1(c)示意性地示出了为了激活表面反应被暴露于等离子体140的电子激发物质的吸附受限层。

[0027] 最后,在一些实施方式中,在表面介导的蚀刻反应已经如图1(d)所示地进行后,由蚀刻反应生成的副产物可以从处理室中去除,如图1(e)所示。这可以通过泵至基压(PTB)和/或用惰性气体吹扫处理室等来实现。在所述吸附受限层包含氯气作为蚀刻剂的实施方式中,副产物可以包括含氯物质并应进行适当的处理。

[0028] 图1(a)–1(e)示意性地描绘了构成原子层蚀刻(ALE)的单个循环的事件的示例性序列。因此,通常单ALE循环可包括操作:吸附蚀刻剂到半导体衬底的表面上,使得蚀刻剂在表面上形成吸附受限层,然后从围绕被吸附的蚀刻剂的体积去除未吸收和/或解吸的蚀刻剂。然后,这样的单ALE循环可继续:在处理室内产生等离子体,并使被吸附的蚀刻剂与等离子体接触以蚀刻衬底的表面。等离子体激活蚀刻之后,可选的蚀刻后去除操作可以从围绕被蚀刻的衬底的体积去除蚀刻副产物和/或解吸的蚀刻剂。

[0029] 然而,由于每个ALE循环仅构成蚀刻剂的单个吸附受限层的反应,通常只有单层从衬底表面上去除,如图1(e)所示,所以ALE操作的循环通常重复多次以基本上蚀刻掉可察觉量的衬底表面。因此,通过箭头接合图1(e)与图1(a),图1示意性示出了这种重复的蚀刻循环。值得注意的是,在每个循环中吸附的蚀刻剂层常常被称作共形层,即具有基本上均匀的厚度的层并且该层基本上符合吸附该层的特征的形状。因此,在每个循环期间将衬底的任何部分暴露于反应性蚀刻剂,该反应性蚀刻剂的量是一致的和可重复的,从而提供整体多循环ALE工艺的均匀性、可控性和选择性。

[0030] 再次参照图1(d)所示的等离子体激活操作,等离子体可以包括离子、自由基和中

性非自由基物质,并且一种或多种这些物质与吸附受限制接触可以用于完成表面反应的激活。根据不同的实施方式,可在处理室中产生/激发等离子体,或者等离子体可从远程等离子体源引入到处理室中,或也可以使用前述的组合。通常,如果离子被用于激活表面反应,则在处理室中产生离子基等离子体,并且如果自由基物质被用于激活表面反应,则它们可从远离处理室产生的自由基等离子体-即从远程自由基等离子体源-引入处理室。在一些实施方式中,等离子体可包含大量的自由基物质和离子物质。等离子体可以形成从惰性气体(如氦、氩、氖、氮和/或氙)形成/包括这样的惰性气体。

[0031] 当离子基等离子体用于激活表面反应时,等离子体的离子可以通过施加的电磁(EM)场被驱动朝向衬底。所施加的EM场可产生影响物质的恒定通量,或者它可以产生通过EM场的脉冲影响物质的脉冲。另外,所施加的EM场可特定保持以便加速离子达到特别选定的/所需的动能水平。虽然这可能类似于离子基溅射蚀刻技术,但所不同的是,在典型的ALE工艺中,离子具有低于被影响的材料的溅射阈值的动能;因为在ALE工艺中由撞击离子传递的能量只需要足以激活被吸附的蚀刻剂的表面反应,而不是足以只通过纯粹的动能以碰撞方式从表面烧蚀层。因此,例如,在本文所公开的ALE技术中,离子物质可以通过以小于100电子伏(eV)的相对动能,或者小于30电子伏特,或甚至小于10伏特的相对动能,碰撞蚀刻剂的吸附受限层(如在图1(d)中)来接触它。当然,如果自由基物质被用来激活反应,那么这些也通常是等离子体产生的,并且还典型地具有较低的动能。在任何情况下,因为所使用的以激活表面反应的物质-例如,它可以被看作是等离子体物质的撞击分子束-比基于离子的溅射蚀刻传递少得多的能量到下面的衬底,原子层蚀刻(ALE)技术对下面的表面可能具有要远远较少的损害,并且该技术在使用蚀刻掩模的情况下采用时对于期望被蚀刻衬底的部分可能是更可控以及更有特异性的。

[0032] 被吸附的蚀刻剂的等离子体激活也可以作为用于控制蚀刻工艺的特异性的附加的机制。特别地,当所施加的EM场用于引导等离子体通量朝向衬底表面时,所述EM场的强度可以使得等离子体物质被赋予基本上垂直于衬底的平面的速度,并且因此,当它们碰撞到衬底时,由于其实质上缺乏任何水平的速度分量,所以这些等离子体物质接触特征侧壁的频率大大低于特征底部。因此,这导致与特征的侧壁相比,在衬底特征的底部的蚀刻反应优先激活,从而起到保持关键尺寸(CD)和特征的深宽比(AR)的作用。在蚀刻覆盖有蚀刻掩模层的衬底中,引导撞击等离子体物质垂直向下(即,基本上垂直于衬底的平面)在不受蚀刻掩模保护的区域使蚀刻工艺向下蚀刻到衬底中,而不是在这样的区域蚀刻侧壁,也不是在这样的区域水平地蚀刻。蚀刻垂直的程度可被认为是蚀刻的各向异性的程度,与蚀刻工艺是各向同性的或具有相等的水平和垂直分量的情形形成对比。在许多情况下,垂直各向异性蚀刻是优选的,因为它向下蚀刻进入衬底而基本上不水平蚀刻特征侧壁(水平蚀刻特征侧壁会导致侧壁成为“弓形”),在某些情况下,即使在水平蚀刻分量可能从蚀刻掩模下方(由蚀刻掩模的边缘垂直地定义的遮蔽区)去除材料的情形下也如此。

[0033] 然而,也存在期望通过各向同性蚀刻进行侧壁蚀刻的情况,甚至存在以下情况:其中蚀刻工艺被设计成在一个阶段基本上垂直各向异性,然后在另一个后续的(或之前)阶段各向同性。一个例子涉及所谓的全环栅(GAA)场效应晶体管(潜在FINFET后继设计)的制造,其中栅极电极环绕晶体管的掺杂沟道区域360度,在本质上,栅极电极形成了纳米线。在这种类型的设计中,可能期望的是各向异性蚀刻-沿沟道侧面垂直向下,然后各向同性蚀刻-

线形沟道下方的通道,使得这些蚀刻掉的区域可用合适的导电栅电极材料填充,从而包裹全环栅(GAA)沟道。因此,下一代集成电路设计的制造可从蚀刻工艺的引入而大大受益,其中蚀刻各向异性的程度可以“在运行中(on the fly)”通过改变一个或多个工艺参数来调整、控制、和/或调谐。

[0034] 调节和/或控制来自蚀刻激活的等离子体的VUV的发射

[0035] 最近,人们已发现,虽然各种惰性气体如氖、氙、氦、氩,以及它们的组合可作为用于形成用于激活ALE工艺中的表面蚀刻反应的等离子体的有效的气体,但在各种实施方式中氦与前述气体中的一种或更多种组合的使用提供了增加的益处。不限制于任何特别的理论,可以认为,氦原子的小尺寸赋予所述蚀刻激活等离子体的氦组分穿透(或更深入地穿透)到蚀刻剂的吸附层的结构中或甚至到被蚀刻的下层材料的结构中的能力,从而更有效地激活在其中的蚀刻反应。

[0036] 因此,可以有利地采用使用基于氦的等离子体的ALE操作。然而,用氦气可能发生的一个问题是,当在某些类型的蚀刻工艺中氦被用作等离子体组分时,它的几个激发态发射真空紫外(VUV)辐射。图2,在下面详细讨论,示出了通过20.7和19.8电子伏特(eV)从基态中分离的氦的2个激发态,并且这些激发态分别经由59和62纳米(nm)光子的发射衰变到基态,其是适合进入真空紫外范围的短波长光(被认为是约200至10nm或约6.20至124eV)。

[0037] VUV辐射具有非常高的能量,因此,发射的VUV光子本身可导致表面蚀刻(例如,通过激活表面吸附的蚀刻剂的反应),并且由于VUV光子被各向同性发射(在这种情况下从氦发射),它们各向同性地蚀刻衬底。如果具有特定方向性的受控各向异性蚀刻是合乎期望的(例如,垂直于衬底的表面),那么这可能造成问题。另一方面,如果在特定的工艺中各向同性蚀刻是合乎期望的,则VUV光子的各向同性发射可以提供益处。

[0038] 然而,如本文进一步描述的,在某些情况下,VUV发射的各向同性性质可以被利用,以在ALE工艺中提供对各向同性/各向异性的程度的控制和/或可调节性。例如,如果在ALE工艺中使用的蚀刻激活等离子体包括VUV发射物,如氦,那么用于调节和/或控制来自该等离子体组分的VUV辐射的程度的机制也可以提供用于调节和/或控制ALE工艺的各向同性/各向异性的机制。实现这一点的一种方法是蚀刻激活等离子体中包括额外气体,其用于去激励发射物气体(至少在一定程度上)并在VUV光子的发射即将发生之前从发射物气体吸收能量。用于发生此能量传送的机制是通过VUV发射物气体的原子和能量吸收物气体的原子之间的非弹性碰撞。因此,对于氦的情况,可以使用能量吸收物气体以在氦有机会发射VUV光子之前以碰撞的方式使氦去激励。

[0039] 可被成功地用于使氦去激励的一种这样的能量吸收物气体是氖。这个过程的能量学在图2中被示意性地示出。应当注意,从氦到氖的碰撞能量转移的原理早已使用在氦-氖激光器中。图中的右侧示出了氖有能量 E_2 、 E_3 、 E_4 和 E_5 的4个电子激发态,伴随着有能量 E_1 的基态。该图的左侧示出了具有能量 E_3' 和 E_5' 的2个氦的电子激发态。(为了简单起见,每个电子激发态将由其相应的能量 E_2 、 E_3 、 E_3' 来称谓)如在该图中所示,氦的激发态 E_3' 和 E_5' 相对于基态 E_1 (取为0伏特)分别具有19.8eV和20.7eV的能量。此外,如在图中所指出的,氦的激发态 E_3' 和 E_5' 分别经由62纳米和59纳米波长的VUV光子发射辐射地衰减到基态 E_1 。

[0040] 然而,图2也示出了具有能量19.8eV和20.7eV的标为 E_3' 和 E_5' 的氦的激发态,其能量非常接近于两个氖的标为 E_3 和 E_5 的电子激发态。 E_3 和 E_3' 之间以及 E_5 和 E_5' 之间的小能量偏

移(约50兆电子伏)可以由参与碰撞的原子的动能供给。其结果是,从氦到氦的谐振能量转移(在这些激励状态中的一个)可以以碰撞的方式诱导(如在图中所示)。例如,在激发态 E_3' 的氦可通过碰撞能量转移到氦而非辐射地返回到其基态,氦然后从其基态 E_1 被激发至激发态 E_3 。同样,氦的激发态 E_5' 可以通过碰撞能量转移和将氦从其基态 E_1 激发到激发态 E_5 而非辐射地淬灭。

[0041] 当然,如果氦一旦被激发就自己发射VUV光子,那么这种氦至氦的谐振能量转移将不会具有预期的效果。然而,如图2'所图解的氦的衰变路径所示的,氦主要从它的 E_3 和 E_5 激发态衰减到中间 E_2 状态,态 E_5 和 E_2 之间的能隙,以及态 E_3 和 E_2 之间的能隙对应于可见或红外范围内而不是在高能量VUV范围发射的光子。具体地,从氦的 E_5 至 E_2 态的辐射衰变产生632.8nm的光子(可见,红色),从氦的 E_3 至 E_2 态的衰变导致1152nm的光子(红外线)的发射。

[0042] 为了完成循环,氦必须返回到它的基态,以便它可以再次从氦以碰撞方式吸收能量。然而,氦无法通过光发射从激发态 E_2 恢复到其基态 E_1 ;它需要碰撞去激励。这通过氦原子与处理室的物理结构(例如,用于产生等离子体的平板电极、处理室的壁、或某些其它结构)之间的碰撞能量转移来完成,其有效地充当剩余的电子能量的吸附浴。应当注意的是,氦的 E_2 态去激励需要处理室的设计具有用于氦原子的小路径使得它们能够在短的时间量内达到壁。特别地,需要具有窄的室间隙的等离子体处理室来支持氦-氦碰撞能量转移过程。

[0043] 因此,在蚀刻激活等离子体中氦由氦伴随提供使得来自所述等离子体的VUV辐射的发射可被调整和/或控制的机制,并且这种能力打开了调节和/或控制在ALE工艺中各向异性蚀刻的程度的可能性。事实上,在涉及多个ALE循环(这是典型的,原因在于,由于在每次循环中使用吸附受限量的蚀刻剂,因而单个ALE循环仅去除小厚度的材料)的蚀刻过程中,来自等离子体的用于激活表面蚀刻反应的VUV照射的发射可被调节一次或多次,以在蚀刻过程期间实现一个或更多的VUV发射轮廓(例如,以改变蚀刻各向异性)。

[0044] 例如,此能力允许ALE工艺作为基本上各向异性的垂直蚀刻(通过如上所述的施加的EM场的影响)开始,然后在一定数量的循环(和/或满足一些其它工艺参数或衬底属性)之后通过增加来自蚀刻等离子体的VUV发射水平转换为各向同性蚀刻。随后,取决于要制造的衬底的特性的类型,它也可以被转换回各向异性垂直蚀刻,依次类推。

[0045] 例如,其中这种控制可以有益的一个特定的方案是上面所提及的全环栅(GAA)晶体管的例子。在这种类型的设计中,可能是合乎期望的是,各向异性蚀刻-沿着GAA晶体管的沟道区域的侧面垂直向下,然后各向同性蚀刻-使得存在大量的在线状沟道区域下方蚀刻的旁路组分,并且对通过具有可调节的VUV发射强度而具有的蚀刻各向异性的控制可以提供实现这种能力的机制。

[0046] 在其他实施方式中,如在采用蚀刻掩模的典型特征蚀刻(相对于在最新GAA设计中的栅极形成)中,目标可以是尽可能基本上垂直地(即垂直于衬底的平面)蚀刻-因为水平蚀刻组分可以在蚀刻掩模下面蚀刻,并对要形成的衬底的器件结构造成损坏。在这种情况下,理想的是,对于整个蚀刻以可行的程度最小化各向同性蚀刻组分,因此,为了实现这一点,可以调节等离子体组成,以便一致地最小化VUV发射。虽然这可能是最常见的情况,但还存在例如在“各向同性ALE”等这样的情况,其中理想的是,最大化各向同性从而最大化VUV发射。在一般情况下,蚀刻工艺的不同阶段,可能需要各向同性或各向异性达到不同的程度,因此,根据不同的实施方式,通过改变等离子体组成而改变等离子体的VUV发射,从而在不

同阶段期间实现每个目标蚀刻各向同性/各向异性,这可能是可行的。

[0047] 在一些实施方式中,VUV发射的调整可涉及改变等离子体中VUV发射物气体与碰撞能量吸收物气体的浓度比。对于其中VUV发射物气体是氦而碰撞能量吸收物气体是氩的情况,这可以通过例如使氦和/或氩以一定的比例流入处理室以改变在等离子体中氦与氩的浓度比来完成。如果有氦和氩连续进给到处理室内,则进料中的相对比例可以变化以改变等离子体的组成。如果没有连续进料,而在室中只是固定的和之前流入的量的氦和氩,那么可建立其中一个或另一个的流以改变室中的比例。在任何情况下,如果流被用于改变相对比例,那么根据所需的VUV发射轮廓,可以通过使氦流入处理室以增加等离子体中氦与氩的比例来向上调节发射强度,或通过使氩流入处理室以减小等离子体中氦与氩的比例来向下调节发射强度。进入室内的VUV发射物或碰撞能量吸收物或两者的流可以通过从室中气体的去除来平衡,使得总室压强保持在所需的水平。因此,通过使用氦和氩之间的各种气体的混合比,可以调节来自蚀刻激活的等离子体的VUV发射的量。人们可以看出:最高的VUV发射强度通过很少或没有氩的气体混合物产生,最低的VUV发射强度通过约50%的氩或高于约50%的氩的气体混合物产生。

[0048] 进行了若干实验以说明可以如何通过将氩包括在等离子体中并通过改变等离子体中氦与氩的相对比例来改变来自氦等离子体的VUV发射强度。实验是在两个不同的蚀刻室中进行的。

[0049] 这些蚀刻室中的第一种是电容耦合等离子体(CCP)反应器,该反应器在这种情况下是小间隙反应器的实施例-这里,具体而言,具有在衬底支架和其他板状电极(在它们之间产生等离子体)之间的只有24毫米(约1英寸)的间隙。小间隙促进氩和等离子体室的结构之间的碰撞,导致与室的碰撞能量转移增强,以及氩的 E_2 态到其基态的弛豫较快。对应于在此室中产生的氦-氩等离子体和示出VUV调节能力的结果示于图3。具体而言,图3绘制了针对在4个不同室的压强水平下进行的4个实验的氩的632.8纳米线的发射强度与进入CCP反应器中氦气流的关系。如该图的图例所示4个压强的范围为40毫毛至400毫毛(较高的总室压强对应于较高的氩分压强)。注意,来自氩的632.8纳米线的发射用于评估通过图2所示的碰撞谐振能量转移过程从氦到氩的能量流,因为实际上VUV发射是很难直接测量的(由于在高真空环境之外VUV线被吸收)。

[0050] 实验结果在图3示出,在4个不同的总室压强水平中的每一个下,约633nm的发射强度对氦气流的依赖关系为:较多的氦可推定产生较多的VUV发射,而且增加氦和氩之间碰撞的频率,从而导致较多的氦碰撞退激励,较多的能量流向氩,从而导致较多633nm的发射。实验还表明,对于给定的氦气流率,100毫毛和250毫毛的总室压强(分别对应于250和550sccm的氩流率)显示最高的633nm发射,因此从氦到氩有最高的能量转移和对VUV发射最强的抑制。不限制于任何特别的理论,认为,这些中间的室压强水平通过提供氦-氩碰撞频率以及氩与处理室的结构之间的碰撞频率之间的平衡导致增加的氦至氩的能量传递。较高的压强增加了氦-氩碰撞事件的频率,但如果压强过高,则氩的平均自由程减小到这样的程度,即在等离子体的内部的氩原子没有以对于自己的退激励所需的足够的频率到达处理室的结构,如果没有此,示于图2的能量传送循环不能完成。(见上述讨论的氩的从 E_2 激发态开始的衰变)。因此可以得出结论,基于这些实验,通常有某种最佳氩分压水平,该最佳氩分压水平趋向于在给定的氦局部压强水平提供最大的VUV抑制。

[0051] 图4示出了在第二类型的蚀刻室中执行类似的实验。第二蚀刻室是电感耦合等离子体 (ICP) 反应器,其是大间隙的反应器的例子,在这种情况下在衬底支架和等离子体产生硬件之间具有约6英寸的间隙。大间隙减少氦和等离子体室的结构之间的碰撞频率(相对于小间隙的反应器),从而导致大大减少的氦的碰撞去激励和从氦的 E_2 态(至其基态)的慢得多的弛豫。

[0052] 类似图3,图4示出了在不同的总室压强水平下进行的4个实验的结果,并绘制了针对每个实验的氦的约633nm线的发射强度与进入反应器的氦气流的关系。这里,针对4个实验,总室压强的范围为从20毫毛至300毫毛,并再次,可以看出,对于给定的氦气流率,中间室的压强导致最大的VUV抑制能力。然而,对于这个大间隙的反应器的情况,导致最高的633nm发射的中间室压强为40毫毛和90毫毛,相比于在小间隙反应器中视为最佳促进VUV抑制的100毫毛和250毫毛的压强水平(参见图3)为显著较低的范围。此外,即使在40毫毛,在大间隙反应器中的实验导致只有微弱的633nm的信号,表示发生了小的VUV抑制。再次,不限制于任何特别的理论,可以认为,在一些点,较高的压强降低氦的平均自由程到它不能频繁到达处理室的结构,频繁到达处理室的结构是氦自身的碰撞去激励所需的,并且不这样的话,如图2中所示的能量传输循环不能完成。由于在大间隙的反应器中氦必须行进以到达蚀刻室的结构,距离显著大于小间隙的反应器中的该距离,可实现VUV抑制的压强比在小间隙反应器中较低。因此,可以得出结论,在大间隙的反应器(如在这些实验中使用的ICP反应器)中,VUV抑制、调节和/或控制被限制在一定的低压的制度下。在任何情况下,图3和4显示VUV发射物气体和能量吸收物气体之间的碰撞能量转移过程可被使用在各种蚀刻室以控制和/或调整VUV发射。

[0053] 因此应注意的是,相对于可在典型的大间隙的反应器(如典型的ICP反应器)中所完成的,采用例如可在CCP反应器中设置的小的室间隙的蚀刻反应器提供用于控制和/或调节VUV发射的显著增强的机会。然而,应该指出的是,在一些实施方式中,有可能在实践中改变典型的ICP反应器(或其他大间隙反应器)以添加一个或多个部件,其提供一种结构,由于较高的压强制度,尽管氦原子具有低平均自由程,但仍可碰撞该结构。例如,大间隙反应器的间隙区域内设置的栅格或网可以是这样的结构。另一个例子是其中心轴被定向成垂直于所述衬底的平面的一组同心的圆柱体(可能具有空隙、孔等)。当然,应该理解的是,在一些实施方式中,如上所述,人们可能希望对于特定的应用调节VUV发射强度,并且因此获得最大的VUV抑制可能实际上不是目标。

[0054] 因此,鉴于前述控制和/或调节来自蚀刻室中的等离子体的VUV辐射的发射的能力,公开的是利用蚀刻反应激活等离子体并且采用调节来自所述等离子体的VUV辐射的发射的一种或多种操作的原子层蚀刻(ALE)技术。图5提供了这样的采用VUV调节的循环的ALE工艺的流程图。如该图所示,循环的ALE工艺开始于将蚀刻剂吸附到半导体衬底的表面以使蚀刻剂在表面上形成吸附受限层的操作511,然后是从围绕被吸附的蚀刻剂的体积去除未吸收的和/或解吸的蚀刻剂的操作512。然后,如该图所示,在操作513中,在处理室中产生氦-氟等离子体,其发射VUV辐射,并且在操作514中所吸附的蚀刻剂然后与等离子体接触,以蚀刻衬底的表面。

[0055] 在这一点上,已经执行单个ALE循环,导致蚀刻掉一层衬底材料。由于多个ALE循环通常组成蚀刻工艺,图5进一步表示前述的ALE循环可以重复任意次数,即N次,以完成特定

的ALE工艺序列。因此,在操作514表面被蚀刻之后,工艺进行到逻辑框515,在515确定是否已经执行N次ALE循环。如果已执行指定数量的N次ALE循环,则工艺结束。否则,如果已经执行的循环小于N次,则工艺进行到逻辑框516。

[0056] 逻辑框516是关于确定是否可有利地调节蚀刻激活等离子体的VUV辐射强度。根据从等离子体所发射的VUV辐射的强度,以及其它因素,在所述ALE循环中完成的衬底蚀刻可能已经基本上各向同性的,或者它可以有大量的各向异性组分,此外,在之前的ALE循环期间各向同性/各向异性的程度可能已是最优的,或者它可能已经在某些方面是次最优的。

[0057] 因此,在一些实施方式中,可以测量蚀刻激活等离子体的特性以确定对于被采用的特定的ALE工艺,等离子体是否具有足够的各向同性或各向异性。例如,可以测量蚀刻激活等离子体的激发态物质的发射带的发射强度以评估等离子体的VUV发射的强度,从而评估它的各向同性/各向异性的程度。在某些这类的实施方式中,所测量的发射频带可以是中心在632.8nm处的氦的可见光波段,如图3和4所示。

[0058] 在其他实施方式中,根据被蚀刻的衬底的性质可判定确定VUV发射调节是否是必要的。例如,在ALE工艺中蚀刻的一个或多个衬底特征的轮廓可用计量工具测量以确定VUV发射调节是否可能是有益的。更具体地,例如,蚀刻特征的侧壁的测得的弯曲可以指示应当使得等离子体较少各向同性和减少VUV发射。

[0059] 在又一其他实施方式中,可能是,在刚刚完成的ALE循环中使用的蚀刻激活等离子体基本上是最优的(或至少相当最优的),但是,由于被蚀刻的衬底特征的设计-例如,蚀刻从垂直改变到水平以实现在GAA晶体管中的栅极形成(如上所述),因此总的蚀刻工艺使得在下一个循环中应该改变各向异性的程度。

[0060] 因此,如图5'的逻辑框516所示,确定是否可有利地调节等离子体的VUV发射强度-例如,因为它在刚刚完成的ALE循环中是次最优的(从等离子体和/或衬底的测得的属性确定的)或因为它是在整个蚀刻工艺的适当的时间来调整它,等等,而且如果是的话,则处理进行到操作517,其中,如所指示的,等离子体VUV发射通过改变等离子体中氦与氖的浓度比来调节。在一些实施方式中,这可以通过响应于所测得的属性按照比例设置进入处理室的氦和/或氖的流,以改变等离子体中的氦与氖的浓度比来实现。在任何情况下,一旦在逻辑框516中VUV发射调节完成,或者如果调节被确定为不必要/无益,则处理进行以再次重复操作511-514的ALE循环。

[0061] 如所描绘的,图5呈现了包含在蚀刻单个衬底时从蚀刻激活等离子体发射的VUV辐射的调整的ALE工艺序列。这可对应于,例如,其中在ALE循环正在进行时监控蚀刻激活等离子体的特性和/或被蚀刻的衬底的特性的情况。然而,在一些实施方式中,在蚀刻后获得关于针对给定的衬底的ALE工艺的特性的信息。因此,该信息可以被有益地用于在被处理的衬底的序列中的下一个衬底的蚀刻的工艺参数的调整。在这些类型的实施方式中,用于测量被蚀刻的衬底的特性(例如,在其表面上的一个或多个所蚀刻的特征的特性)的量测工具可以(但不一定)是与蚀刻处理室不同(但可能在相同的群集工具中)的设备,并且可以在衬底离开蚀刻室之后被用于获取上述数据。因此,例如,在一些实施方式中,可建立来自单独的计量工具的反馈回路使得蚀刻轮廓信息被反馈到蚀刻室的操作中,并且如果测得的蚀刻轮廓并非在性能所需的范围内,则可以自动地调整氦和氖的比率以补偿。应当指出的是,虽然在这些各种各样的实施方式中,在衬底的序列的情况中执行了VUV发射调节,但在图5中示

出的原理仍然适用：在ALE操作的序列期间，通过调节VUV发射可确定蚀刻工艺是否受益，如果是这样的话，则通过改变等离子体中氦与氟的浓度比来进行调节，以便改善后续的ALE循环。

[0062] 额外ALE工艺参数详情

[0063] (i) 蚀刻剂的投配和吸附：在刚才描述的ALE循环的蚀刻剂投配和吸附操作期间，蚀刻剂可以以介于约100和250sccm(每分钟标准立方厘米)之间的速率或更特别地介于约150和500sccm之间的速率流入反应室。根据实施方式的不同，蚀刻剂可以流入到反应室，使得蚀刻剂在室中具有介于约50和250毫托之间的分压，或更特别地具有介于约100至150毫托之间的分压。流的持续时间可以持续介于约0.5和30秒之间，或更特别地介于约10和20秒之间。在一些实施方式中，该步骤可以被等离子体增强。RF功率电平可以介于约100和1000瓦之间，或介于约200和700瓦之间，并且在一些实施方式中，约400瓦的RF功率到感应耦合反应器中的天线，或以相同的功率电平到电容耦合的反应器的电极。

[0064] (ii) 投配后去除蚀刻剂：在刚刚描述的ALE循环的去除未吸附和/或解吸的蚀刻剂的投配后操作期间，可以使用反应室的惰性吹扫。吹扫可以构成使惰性吹扫气体(如可被用作去除气体的氦和/或氟，以及氩、氦、和/或氩)以介于约100和500sccm之间的速率流入反应室，持续介于1至10秒之间的时间或更具体地为介于约1和3秒之间的时间，或约2秒的时间。

[0065] (iii) 等离子体产生和蚀刻激活：在刚刚描述的ALE循环的等离子体激活反应/转换操作期间，等离子体可在包括VUV-发射物气体(如氦)和碰撞能量吸收物气体(例如氟)的自由基和/或离子的处理室中产生。所述等离子体是通过一旦这些气体流入(或正在流入)处理室则施加RF电磁(EM)辐射到这些气体而形成的。在等离子体产生期间这些等离子体前体的适用的流可以在介于约100和250sccm(每分钟标准立方厘米)之间，或更特别为介于约150和500sccm之间，或者至反应室的流可以是使得，例如建立介于约50至250毫托之间，或更特别为介于约100至150毫托之间的合并的VUV发射物气体和碰撞能量吸收物气体的分压。

[0066] 用于产生等离子体的RF功率可以介于约30和6000瓦之间，或介于约200和3100瓦之间，或介于约300和1100瓦之间，或介于约350和550瓦之间，或介于约30和100W之间，或约400瓦；频率为13.56MHz(但根据实施方式的不同，也可以使用13.56MHz正整数倍，例如27.12MHz, 40.68MHz或54.24MHz(有时非整数倍，例如60MHz)，等等，还可使用一些关于13.56MHz或13.56MHz的倍数的频率调谐)。RF功率可以保持接通持续介于约0.1和30秒之间，导致被吸附的蚀刻剂对等离子体的离子和/或自由基的相应曝露时间持续介于约0.1至30秒，从而导致表面蚀刻反应。更具体地，RF功率可以接通(以及被吸收的蚀刻剂暴露于等离子体)持续介于约0.5和3秒之间，或者持续介于约0.5至2秒之间，或持续介于约1至2秒之间的时间。

[0067] 此外，虽然在RF频率设定为约13.56MHz，产生常规高频等离子体，但在一些配置中，频率可以被允许浮到与这个标准值不同的值。通过允许频率浮动(典型地约 $\pm 5\%$)，同时固定阻抗匹配到预定负载(例如，50欧姆负载，但负载可以是依赖于频率的)，等离子体可以更迅速地稳定，当使用有时与ALE循环相关联的非常短的等离子体持续时间时，结果可能是重要的。此外，如上所述，在某些实施方式中，13.56MHz的标准的HF值的倍数(或在一些实

施方式中,非倍数,例如60MHz或80MHz)可以被用于产生更高频率的等离子体。如当使用13.56MHz的标准值时,在13.56MHz的倍数的较高频率下产生的HF辐射也可被允许进行动态调谐。根据实施方式的不同,可以使用13.56MHz的倍数,包括27.12MHz($=2*13.56\text{MHz}$),40.68MHz($=3*13.56\text{MHz}$),54.24MHz($=4*13.56\text{MHz}$),等等。关于13.56MHz的倍数的频率调谐可以包括约 $\pm 5\%$ 的频率变化。较高的RF频率导致每瓦特RF功率更高的等离子体密度,较低的方块电压和离子撞击衬底的较低速率和方向性,这当目标是各向同性地蚀刻时可能是有益的。

[0068] (iv) 蚀刻副产物和/或解吸的蚀刻剂物质去除:当在ALE循环中采用蚀刻后副产物去除操作时,去除可通过用惰性吹扫气体(如Ar或N₂)以介于约100和500sccm之间的流率持续介于约1和10秒之间,或更具体地持续介于约1和3秒之间,或持续约2秒的时间吹扫室来完成。在压强方面,在吹扫期间在室中的压强可在介于约50至250毫毛之间,或更特别为介于约50至150毫毛之间。至于上述的投配后去除操作,在一些实施方式中,在蚀刻后去除期间也可以使用PTB。因此,投配后和蚀刻后去除操作一般可经由吹扫衬底周围的体积,通过抽真空到基压(“泵至基压”)来排空衬底周围的体积等等来完成。

[0069] 衬底处理装置

[0070] 本文中所描述的方法可以用任何合适的半导体衬底处理装置来执行。合适的装置包括用于完成处理操作的硬件和具有用于在根据本文公开的各种等离子体VUV发射调节和/或控制技术和本文公开的ALE操作控制处理操作的指令的系统控制器。在一些实施方式中,硬件可以包括:包含在多站式衬底处理工具(如下所述)中的一个或多个处理站,以及具有(或访问)用于根据本文描述的技术和操作控制装置的处理操作的机器可读指令的控制器(如下所述)。

[0071] 因此,如在各种的上下文中更具体地描述的,下面描述了各种电容耦合和电感耦合等离子体反应器,适当的衬底处理装置通常可包括处理室、等离子体发生器、配置成使气体流入处理室的一个或多个气流入口,真空泵、通到真空泵的阀控制的导管,以及用于控制这些部件的操作的控制器。在一些实施方式中,这样的装置可以进一步包括用于测量形成在其处理室中形成的等离子体的发射强度的光检测器,以及包含在上述装置中的处理模块可访问用于测量使用该装置在半导体衬底上蚀刻的特征的蚀刻轮廓的计量工具。以下的说明更详细地说明合适的蚀刻室。

[0072] 用于ALE操作的电容耦合等离子体反应器

[0073] 在某些实施方式中,电容耦合等离子体(CCP)反应器可适合于采用用于吸附的氯等离子体和用于解吸的氮-氟(氮-氟)等离子体的原子层蚀刻(ALE)操作,其中VUV发射可被调整和/或控制,该电容耦合等离子体(CCP)反应器描述在于2009年2月9日申请的,名称为“Adjustable gap capacitively coupled RF plasma reactor including lateral bellows and non-contact particle seal”的美国专利申请号为No.12/367754的美国专利No.8552334中,其全部内容通过引用并入本文并用于所有目的。

[0074] 例如,图6A-图6C示出了可调节间隙电容耦合限制RF等离子体反应器600的实施方式。如所描绘的,真空处理室602包括室壳体604,室壳体604围绕容纳下电极606的内部空间。在室602的上部,上电极608与下电极606垂直隔开。上电极608和下电极606的平坦表面(被配置为用于产生等离子体)基本平行并垂直于电极间的垂直方向。优选地,上电极608和

下电极606是圆形的,并且相对于垂直轴线同轴。上电极608的下表面朝向下电极606的上表面。相对电极间隔开的表面限定其间存在的可调节间隙610。等离子体产生期间,下电极606由RF功率源(匹配)620供给RF功率。RF功率通过RF供应管线622、RF带624和RF功率构件626被供给到下电极606。接地屏蔽件636可以围绕RF功率构件626,以供应更均匀的RF场到下电极606。如在美国专利No.2008/0171444(其全部内容通过引用并入本文并用于所有目的)中描述的,晶片通过晶片端口682插入并支撑在下电极606上的间隙610中用于处理,处理气体被供给到间隙610并由RF功率激发成等离子体状态。上电极608可被供电或接地。

[0075] 在图6A-图6C中所示的实施方式中,下电极606被支撑在下电极支撑板616上。插在下电极606和下电极支撑板616之间的绝缘环614使下电极606与支撑板616绝缘。RF偏置壳体630将下电极606支撑在RF偏置框架盆632上。盆632穿过在室壁板618中的开口通过RF偏置壳体630的臂634连接到导管支撑板638。在优选实施方式中,RF偏置框架盆632和RF偏置框架臂634一体地形成一个部件,但是,臂634和碗632也可以是栓接或接合在一起的两个分离的部件。

[0076] RF偏置框架臂634包括一个或多个中空通路用于传递RF功率和设施,诸如气体冷却剂、液体冷却剂、RF能量、用于升降销控制的电缆、电气监测和启动从真空室602外到真空室602内在下电极606的背面上的空间的信号。RF供应导管622与RF偏置框架臂634绝缘,该RF偏置框架臂634提供RF功率到RF功率源620的返回路径。设施管道640提供了用于设施的组件的通道。设施的组件的进一步的细节在美国专利No.5948704和美国专利公开No.2008/0171444(这两者其全部内容通过引用整体并入本文用于所有目的)中描述,并且为了描述的简单性这里未示出。间隙610优选地由约束环组件(未示出)包围,其中的细节可以在美国专利公开No.2007/0284045(其全部内容在此通过引用并入本文用于所有目的)中得到。

[0077] 导管支撑板638被连接到致动机构642。致动机构的细节在美国专利公开No.2008/0171444(其全部内容在此通过引用并入本文用于所有目的)中有描述。致动机构642,例如伺服机械电机、步进电机或类似物,通过例如螺旋齿轮646(如滚珠丝杠)和用于转动滚珠丝杠的马达连接到垂直线性轴承644。在调整间隙610的大小的操作过程中,致动机构642沿着垂直线性轴承644行进。图6A示出了当致动机构642在线性轴承644上产生小的间隙610a的高的位置时的布置。图6B示出了当致动机构642在线性轴承644上中间的位置时的布置。如图所示,下电极606、RF偏置框架630、导管支撑板638、RF功率源620均相对于室壳体604和上电极608向下移动,从而产生中等大小的间隙610b。

[0078] 图6C示出了当驱动机构642在线性轴承上的低的位置时的大的间隙610c。优选地,上电极608和下电极606在间隙调整器件保持同轴并且跨越间隙的上电极和下电极的相对表面保持平行。

[0079] 例如,为了保持跨越大直径衬底(例如300毫米晶片或平板显示器)的均匀蚀刻,本实施方式使得在多步骤蚀刻工艺期间在CCP室602中上电极608和下电极606之间的间隙610能进行调节。特别地,本实施方式涉及一种机械装置,该机械装置用以促进提供下电极606和上电极608之间可调的间隙所需的直线运动。

[0080] 图6A示出了在导管支撑板638的近端并在到室壁板618的台阶凸缘628的远端密封的横向偏转的波纹管650。台阶凸缘的内径限定室壁板618中的开口612,RF偏置框架臂634通过开口612。横向偏转的波纹管650提供真空密封,同时允许RF偏置框架630、导管支撑板

638和致动机构642的垂直移动。RF偏置框架630、导管支撑板638和致动机构642可以被称为悬臂部件。优选地,RF功率源620与该悬臂组件一起移动并可以连接到导管支撑板638。图6B示出了当悬臂组件在中间位置时处于中间位置的波纹管650。图6C示出了当悬臂组件处于低的位置时侧向偏转的波纹管650。

[0081] 迷宫式密封件648提供了波纹管650和等离子体处理室壳体604的内部之间的颗粒屏障。固定屏蔽件656在室壁板618不可移动地连接到室壳体604的内壁内,以便提供迷宫式槽660(沟),其中可移动屏蔽板658垂直移动,以适应悬臂组件的垂直移动。可移动屏蔽板658的外部在下电极606的所有垂直位置保持在槽中。

[0082] 在示出的实施方式中,迷宫式密封件648包括在限定迷宫式槽660的室壁板618的开口612的周边连接到室壁板618的内表面上的固定屏蔽件656。可动屏蔽板658连接RF偏置框架臂634并沿该RF偏置框架臂634径向延伸,其中臂634穿过该室壁板618中的开口612。可动屏蔽板658延伸进入迷宫式槽660,同时与固定屏蔽件656间隔开第一间隙,并与室壁板618的内表面间隔开第二间隙,从而允许悬臂组件垂直移动。迷宫式密封件648阻止从波纹管650剥落的颗粒进入真空室内部,并阻挡来自工艺气体等离子体的自由基迁移到波纹管650,在波纹管650中自由基可以形成随后剥落的沉积物。

[0083] 图6A示出了当悬臂组件处于高位置(小的间隙610a)时在RF偏置框架臂634上方的迷宫式槽660中较高的位置的可移动屏蔽板658。图6C示出了当悬臂组件处于低位置(大的间隙610a)时在RF偏置框架臂634上方的迷宫式槽660中较低位置的可移动屏蔽板658。图6B示出了当悬臂组件处于中间位置(中等的间隙610a)时在迷宫式槽660内中等或中间位置的可移动屏蔽板658。而迷宫式密封件648被示出为相对于RF偏置框架臂634是对称的,在其他实施方式中迷宫式密封件648相对于RF偏置框架臂634可以是不对称的。

[0084] 用于ALE操作的电感耦合等离子体反应器

[0085] 现在描述电感耦合等离子体(ICP)反应器,在某些实施方式中,ICP反应器可以适合于采用用于吸附的氯等离子体和用于解吸的氢-氟(氢-氟)等离子体的原子层蚀刻(ALE)操作,其中VUV发射可被调节和/或控制。这样ICP反应器已经在于2013年10月12日申请的名称为“IMAGE REVERSAL WITH AHM GAP FILL FOR MULTIPLE PATTERNING”的美国专利公开No. 2014/0170853中描述,其全部内容通过引用并入本文并用于所有目的。

[0086] 例如,图7示意性地示出了适合于实现本文某些实施方式的电感耦合等离子体蚀刻装置700的剖视图,装置700的一个例子是由加州弗里蒙特的Lam Research Corp.生产的Kryo™反应器。电感耦合等离子体蚀刻装置700包括由室壁701和窗711结构上限定的整体蚀刻室。室壁701可以由不锈钢或铝制成。窗711可以由石英或其它介电材料制成。可选的内部等离子体栅格750将整体蚀刻室分成上部子室702和下部子室703。在大多数实施方式中,可以去除等离子体栅格750,从而利用由子室702和703组成的室空间。卡盘717定位在下部子室703中在底部内表面附近。卡盘717被配置成接收和保持在其上执行蚀刻工艺的半导体晶片719。卡盘717可以是当晶片719存在时用于支撑晶片719的静电卡盘。在一些实施方式中,边缘环(未示出)围绕卡盘717,并具有大致与晶片719(当晶片719在卡盘717上方存在时)的顶面共面的上表面。卡盘717还包括用于夹紧和放松晶片的静电电极。可设置过滤器和DC钳位电源(未示出)用于此目的。也可以提供其他的控制系统用于提升晶片719离开卡盘717。卡盘717可以用RF功率源723充电。RF功率源723通过连接件727被连接到匹配电路

721。匹配电路721通过连接件725连接到卡盘717。以这种方式,RF功率源723被连接到卡盘717上。

[0087] 包括线圈733的用于产生等离子体的元件位于的窗口711上方。线圈733由导电材料制成,并包括至少一整匝。在图7中所示的线圈733的例子包括三匝。线圈733的横截面用符号示出,具有“X”的线圈旋转地延伸到页面中,而具有“●”的线圈旋转地延伸出页面。用于产生等离子体的元件还包括配置为提供RF功率至线圈733的RF功率源741。一般地,RF功率源741通过连接件745被连接到匹配电路739。匹配电路739通过连接件743连接到线圈733。以这种方式,RF功率源741被连接到线圈733。可选的法拉第屏蔽件749被定位在线圈733和窗口711之间。法拉第屏蔽件749以相对于线圈733隔开的关系被保持。法拉第屏蔽件749被设置在窗口711的正上方。线圈733、法拉第屏蔽件749和窗口711各自被配置为基本上彼此平行。法拉第屏蔽件可以防止金属或其它物质沉积在等离子体室的电介质窗上。

[0088] 工艺气体(如氩、氟、蚀刻剂,等)可以通过设置在上部室中的一个或多个主气流入口760和/或通过一个或多个侧气流入口770流入处理室。同样地,虽然未明确示出,类似的气流入口可用于提供工艺气体到图6A-6C中所示的电容耦合等离子体处理室中。真空泵,例如,一个或两个阶段机械干式泵和/或涡轮分子泵740,可以被用于将工艺气体吸出处理室724,并维持处理室700内的压强。阀受控导管可用于流体连接真空泵至处理室,以选择性地控制由真空泵提供的真空环境的应用。在操作等离子处理过程中,这可以采用闭环控制的流限制装置来实现,例如采用节流阀(未示出)或钟摆阀(未示出)来实现。同样地,也可使用与图6A-图6C中的电容耦合等离子体处理室连接的真空泵和阀控制的流体连接件。

[0089] 在装置的操作过程中,一种或多种工艺气体可通过气流入口760和/或770供给。在某些实施方式中,工艺气体可以仅通过主气流入口760供给,或者仅通过侧气流入口770供给。在一些情况下,例如,在该图所示的气流入口可以替换较复杂的气流入口,一个或多个喷头。法拉第屏蔽件749和/或任选的格栅750可以包括使工艺气体能输送至室的内部通道和孔。法拉第屏蔽件749和任选的格栅750中的一者或两者可以作为用于输送工艺气体的喷头。

[0090] 射频功率从RF功率源741供给到线圈733以使RF电流流过线圈733。流过线圈733的RF电流产生围绕线圈733的电磁场。电磁场产生在上部子室702内的感应电流。各种所产生的离子和自由基与晶片719的物理和化学相互作用选择性地蚀刻晶片的特征。

[0091] 如果使用等离子体栅格使得存在上部子室702和下部子室703两者,那么感应电流作用在存在于上部子室702的气体,以在上部子室702中产生电子-离子等离子体。可选的内部等离子体栅格750限制在下部子室703的热电子的量。在一些实施方式中,装置被设计和操作使得存在于下部子室703中的等离子体是离子-离子等离子体。

[0092] 上部电子-离子等离子体和下部离子-离子等离子体可包含正离子和负离子,但离子-离子等离子体将有负离子与正离子的较大比率。挥发性蚀刻副产品可以从下部子室703通过端口722被去除。

[0093] 本文所公开的卡盘717可以在介于约10℃和约250℃之间的范围内的升高的温度下操作。该温度将取决于蚀刻工艺操作和特定配方。在一些实施方式中,室701还可以在介于约1毫毛和约95毫毛之间的范围内的压强下操作。在某些实施方式中,压强可以是较高的,如上所公开的。

[0094] 室701可以耦接到安装在超净室中的设施(未示出)或制造设施中。设施包括提供工艺气体、真空、温度控制和环境颗粒控制的管道。这些设施当安装在目标制造设施中时耦接到室701。此外,室701可以耦接到允许机械使用典型的自动化将半导体晶片传送进和出室701的传送室。

[0095] 在一些实施方式中,系统控制器730(其可以包括一个或多个物理或逻辑控制器)控制蚀刻室的操作的部分或全部。系统控制器730可以包括一个或多个存储器设备和一个或多个处理器。

[0096] 具有集成测量工具的集群工具

[0097] 图8描绘了具有各种与真空传送模块838 (VTM) 接口的模块的半导体工艺群集工具800。在多个存储设备和处理模块之间“传送”晶片的传送模块装置可以被称为“集群工具架构”系统。气密室830(也被称为装载锁或传送模块)在VTM 838示出具有四个处理模块820a-820d,其可以被单独优化以执行各种制造工艺。

[0098] 例如,处理模块820a-820d可以被实现以执行衬底蚀刻(如经由ALE工艺的在单维和双维上的图案蚀刻),沉积(例如通过原子层沉积(ALD)工艺进行的保形膜沉积),离子注入,晶片清洗,晶片平坦化,溅射和/或其它半导体工艺。因此,例如,处理模块可以是电感耦合等离子体反应器(如上所述),或电容耦合等离子体反应器(也如上所述)。

[0099] 在一些实施方式中,一个或多个衬底处理模块(820a-820d中的任一个)可专用于获取可被用作调节和/或控制集群工具上的其他晶片处理模块的操作的基础的晶片测量数据。例如,晶片测量工具模块可以蚀刻操作之后测量一个或多个衬底特征的一个或多个属性,所得到的数据随后可用于调整工艺参数,诸如,例如,用于激活ALE工艺的等离子体中氦与氟的相对比例-在群集工具发生的进一步蚀刻操作中。在某些这类的实施方式中,由测量模块/工具测量的衬底特征可以是半导体衬底的特征的蚀刻轮廓。

[0100] 在如图8中所示群集工具上执行的一些蚀刻操作中,可以在蚀刻操作过程中进行测量,且测量可以被分析以确定如何调节和/或控制一个或多个工艺参数,同时相同的蚀刻在进行中和/或在随后的蚀刻操作中(例如,在不同的衬底上)进行。例如,电感耦合等离子体反应器或电容耦合等离子体反应器可以使用光检测器用于测量来自一个或多个可见、红外、紫外(UV)和/或真空紫外(VUV)发射带的发射强度,例如,来自用于激活ALE表面反应的等离子体的发射强度。在一些实施方式中,可以分析和使用所测量的发射强度,以调节本文所述ALE操作中使用的氦-氟等离子体中氦和氟的相对浓度。

[0101] 再次参照图8,气密室830和处理模块820可以称为“站”。每个站具有将站与VTM 838连接的小面836。在每个小面中,传感器1-18用于检测晶片826在各站之间在移动时的通过。自动机械822将晶片826在站之间传输。在一个实施方式中,自动机械822具有一个臂,在另一实施方式中,自动机械822具有两个臂,其中每个臂具有端部执行器824以拾取晶片(如晶片826)用于运输。在大气传送模块(ATM)840中,前端自动机械832用于从在负载端口模块(LPM)842中的晶片盒或前开式晶片盒(FOUP)834传送晶片826到气密室830。处理模块820内的模块中心828是用于放置晶片826的地方。在ATM 840中的对准器844用于对齐晶片。

[0102] 在处理序列的一个例子中,晶片被放置在LPM 842中的FOUP 834中的一个中。前端自动机械832将晶片从FOUP 834传送到对准器844,它允许晶片826在被蚀刻或处理之前适当地居中。对准后,晶片826由前端自动机械832移动到气密室830。由于气密室模块具有匹

配ATM和VTM之间的环境的能力,因此晶片826能够在两个压强环境之间移动而不被破坏。从气密室模块830,晶片826通过自动机械822移动通过VTM 838并进入处理模块820a-820d中的一个。为了实现这种晶片移动,自动机械822在其每一个臂使用端部执行器824。一旦晶片826已被处理,晶片826就通过自动机械822从处理模块820a-820d移动到气密室模块830。从这里,晶片826可通过前端自动机械832移动到FOUP 834中的一个或对准器844。

[0103] 应当指出的是,系统控制器(如下所述)可被用于控制群集工具的操作(例如,以控制群集工具上的各站之间的衬底移动)。系统控制器可以对集群架构是本地的,或者它可以位于在制造工厂中的群集工具的外部,或在远程位置,并通过网络连接到群集工具。

[0104] 系统控制器

[0105] 图8还描绘了用于控制处理工具800的工艺条件和硬件状态以及其处理站的系统控制器850的一个实施方式。系统控制器850可包括一个或多个存储器设备856、一个或多个大容量存储设备854以及一个或多个处理器852。处理器852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。

[0106] 在一些实施方式中,系统控制器850控制处理工具800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850可以执行在处理器852上的机器可读系统控制指令858,在一些实施方式中,系统控制指令858可以从大容量存储装置854加载到存储器设备856中。系统控制指令858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/或底座的位置、以及通过处理工具800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例如通过ALE蚀刻膜相关的处理,有关例如通过使用氦-氟等离子体进行吸附表面反应物的等离子体激活的操作,例如从经由使用碰撞能量吸附物气体(如氟)而来自诸如氦的等离子体VUV发射的调节,以及其它类型的衬底处理操作。

[0107] 因此,例如,对于具有用于测量来自用于激活表面蚀刻反应的等离子体的发射强度的光检测器的用于执行ALE处理的装置,由系统控制器850执行的机器可读指令858可以包括用于下列事项的指令:

[0108] 操作等离子发生器以在处理室中产生等离子体,等离子体包含氦和氟,等离子体发射VUV辐射;以及

[0109] 操作一个或多个气流入口以通过使氦气和/或氟成比例地流入处理室,以调节来自等离子体的VUV辐射的发射,从而改变等离子体中的氦与氟的浓度比。

[0110] 而且,例如并根据实施方式,包括用于下列事项的指令:

[0111] 操作光检测器以测量等离子体的发射带的发射强度;以及

[0112] 操作一个或多个气流入口以响应于所测得的发射强度设置氦和/或氟进入处理室的流率。

[0113] 同样地,相对于具有用于测量蚀刻轮廓的测量工具的用于执行ALE处理的装置,所述控制器的机器可读指令可包括用于下列事项的指令:

[0114] 操作一个或多个气流入口以使蚀刻剂气体流入处理室;

[0115] 设置处理室内的条件,使得蚀刻剂吸附到保持在其中的半导体衬底的表面,以形

成蚀刻剂的吸附受限层；

[0116] 操作阀控制的导管和真空泵以从围绕被吸附的蚀刻剂的体积去除未吸附和/或解吸的蚀刻剂；

[0117] 在蚀刻剂吸附和去除未吸附和/或解吸的蚀刻剂之后，操作等离子发生器以蚀刻半导体衬底上的特征；

[0118] 操作测量工具来测量在半导体衬底上的所蚀刻的特征的蚀刻轮廓；以及

[0119] 操作一种或多种气流入口以响应于所测得的蚀刻轮廓设置氦和/或氖进入处理室的流率。

[0120] 系统控制指令858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858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858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。

[0121] 在一些实施方式中，系统控制软件858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，一个或者多个沉积和/或蚀刻处理的每个阶段可以包括用于由系统控制器850执行的一个或多个指令。用于设置膜沉积和/或蚀刻处理阶段的处理条件的指令例如可以包括在相应的沉积和/或蚀刻配方阶段中。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。

[0122] 在一些实施方式中可以采用存储在与系统控制器850相关联的大容量存储设备854和/或存储器设备856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。

[0123] 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(见508,图5)上并控制衬底和图5的处理工具500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和/或蚀刻在衬底上的膜的指令。

[0124] 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在沉积和/或蚀刻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和/或蚀刻在衬底上的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/或在不同的期间引入这些气体的指令，具体取决于将被沉积的膜的组成和/或所涉及的蚀刻工艺的特性。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。

[0125] 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和/或蚀刻衬底期间保持相同或不同的压强的指令。

[0126] 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和/或蚀刻衬底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。

[0127] 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和/或蚀刻衬底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。

[0128] 在一些实施方式中,可以存在与系统控制器850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。

[0129] 在一些实施方式中,由系统控制器850调节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(例如衬底保持架和喷头温度)、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。

[0130] 用于监控处理的信号可以由系统控制器850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800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)、压强传感器(例如压强计)、热电偶之类的温度传感器、等等。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。

[0131] 系统控制器850可以提供用于执行上述沉积和/或蚀刻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、压强、温度等。所述指令可以控制这些参数以执行膜沉积和/或蚀刻操作,如本发明所描述的。

[0132] 因此,系统控制器将通常包括一个或多个存储器设备和被配置成执行机器可读指令的一个或多个处理器以使该装置将执行根据本文所公开的工艺的操作。包含用于控制根据本发明所公开的衬底处理操作的指令的机器可读的非临时性介质可以耦合到系统控制器。

[0133] 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。

[0134] 在一些实施方式中,控制器是系统的一部分,该系统的一部分可以是上述实施方式的一部分。这样的系统可以包括半导体处理设备,半导体处理设备包括一个或多个加工工具、一个或多个室、用于处理的一个或多个平台、和/或特定的处理部件(晶片基座、气体流动系统等)。这些系统可与电子器件集成,以便在半导体晶片或衬底的处理之后、期间或之后控制这些系统的操作。电子器件可以被称为“控制器”,其可以控制一个或多个系统的各种组件或子部分。根据处理要求和/或系统的类型的不同,控制器可以被编程,以控制本发明所公开的工艺中的任何一些,包括控制处理气体的输送、温度的设置(例如,加热和/或冷却)、压强的设置、真空的设置、电源的设置、射频(RF)发生器的设置、RF匹配电路的设置、频率的设置,流率的设置、流体输送的设置、位置和操作的设置、晶片的进出工具和其他工具转移和/或连接到特定系统的或与特定系统接口的加载锁的传送。

[0135] 从广义上讲,控制器可以被定义为接收指令、发出指令、控制操作、使能清洁操作、使能终点测量等的具有各种集成电路、逻辑、存储器、和/或软件的电子器件。该集成电路可以包括定义为固件形式的存储程序指令的芯片、数字信号处理器(DSP)、定义为专用集成电路(ASIC)的芯片和/或执行程序指令(例如,软件)的一个或多个微处理器、或微控制器。程序指令可以是与各种不同的设置(或程序文件)形式的控制器通信的指令,确定在或用于半导体晶片或向系统进行特定处理的操作参数。在一些实施方式中,所述操作参数可以是由工艺工程师定义的以完成晶片的一个或多个(种)层、材料、金属、氧化物、硅、二氧化硅、表面、电路和/或管芯的制造过程中的一个或多个处理步骤的配方的一部分。

[0136] 在一些实施方式中,控制器可以是与系统集成、耦接或者说是通过网络连接系统或它们的组合的计算机的一部分或者与该计算机耦接。例如,控制器可以在“云端”或者是fab主机系统的全部或一部分,它们可以允许远程访问晶片加工。计算机可以启用对系统的远程访问以监测制造操作的当前处理,检查过去的制造操作的历史,检查多个制造操作的趋势或性能标准,改变当前处理的参数,设置处理步骤以跟随当前的处理或者开始新的工艺。在一些实例中,远程计算机(例如,服务器)可以通过网络给系统提供工艺配方,网络可以包括本地网络或互联网。远程计算机可以包括允许输入或编程参数和/或设置的用户界面,这些输入或编程的参数和/或设置然后从远程计算机通信到系统。在一些实例中,控制器接收数据形式的指令,该指令指明在一个或多个操作期间将要执行的每个处理步骤的参数。应当理解,参数可以针对将要执行的工艺类型以及工具类型,控制器被配置成连接或控制该工具类型。因此,如上所述,控制器可以例如通过包括一个或多个分立的控制器而分布,这些分立的控制器通过网络连接在一起并且朝着共同的目标(例如,本文所述的工艺和控制)工作。用于这些目的的分布式控制器的实例可以是与结合以控制室内工艺的一个或多个远程集成电路(例如,在平台水平或作为远程计算机的一部分)通信的室内的一个或多个集成电路。

[0137] 在没有限制的情况下,示例的系统可以包括等离子体蚀刻室或模块(使用电感耦合等离子体或电容耦合等离子体)、沉积室或模块、旋转冲洗室或模块、金属电镀室或模块、清洁室或模块、倒角边缘蚀刻室或模块、物理气相沉积(PVD)室或模块、化学气相沉积(CVD)室或模块、原子层沉积(ALD)室或模块、原子层蚀刻(ALE)室或模块、离子注入室或模块、轨道室或模块、以及在半导体晶片的制备和/或制造中可以关联上或使用的任何其他的半导体处理系统。

[0138] 如上所述,根据工具将要执行的一个或多个工艺步骤,控制器可以与一个或多个其他的工具电路或模块、其他工具组件、组合工具、其他工具界面、相邻的工具、邻接工具、位于整个工厂中的工具、主机、另一个控制器、或者将晶片的容器往来于半导体制造工厂中的工具位置和/或装载口搬运的材料搬运中使用的工具通信。

[0139] 光刻图案化

[0140] 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去除抗蚀剂,从而使其图案化;(5)

通过使用干式或等离子体辅助式的蚀刻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去除抗蚀剂。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。

[0141] 其它实施方式

[0142] 尽管为了促进清楚和理解的目的，在具体实施方式的背景下，已经详细描述了前述公开的技术、操作、处理、方法、系统、装置、工具、膜、化学品和组合物，但对于本领域的普通技术人员而言，显而易见的是，存在许多实施前述实施方式的落入本发明的主旨和范围内的替代方式。因此，本文所描述的实施方式应被看作是说明本发明公开的创造性构思，而不是限制，并且不应允许被用作不适当地限制最终指向本发明的主题的任何权利要求的范围的基础。

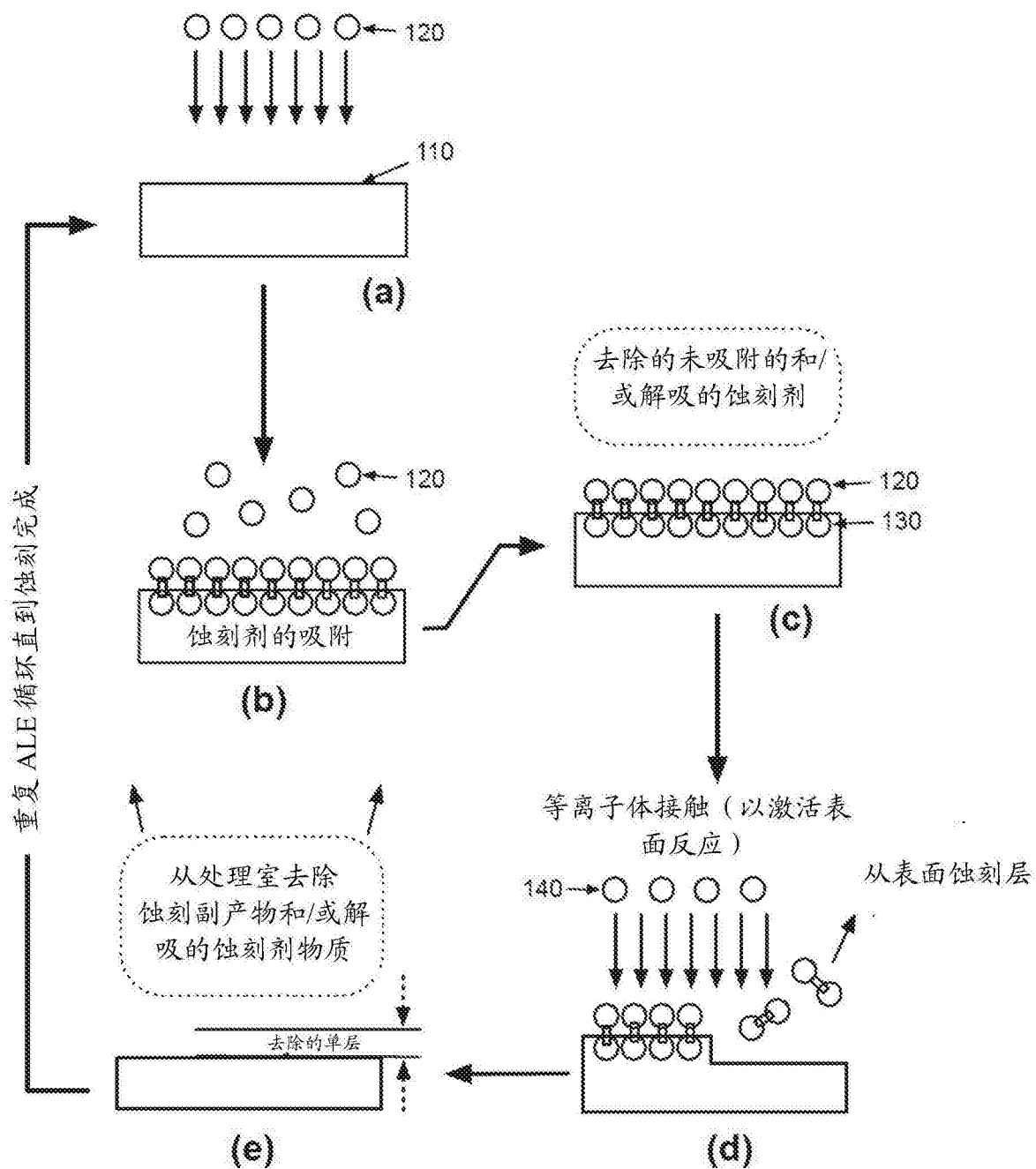


图1

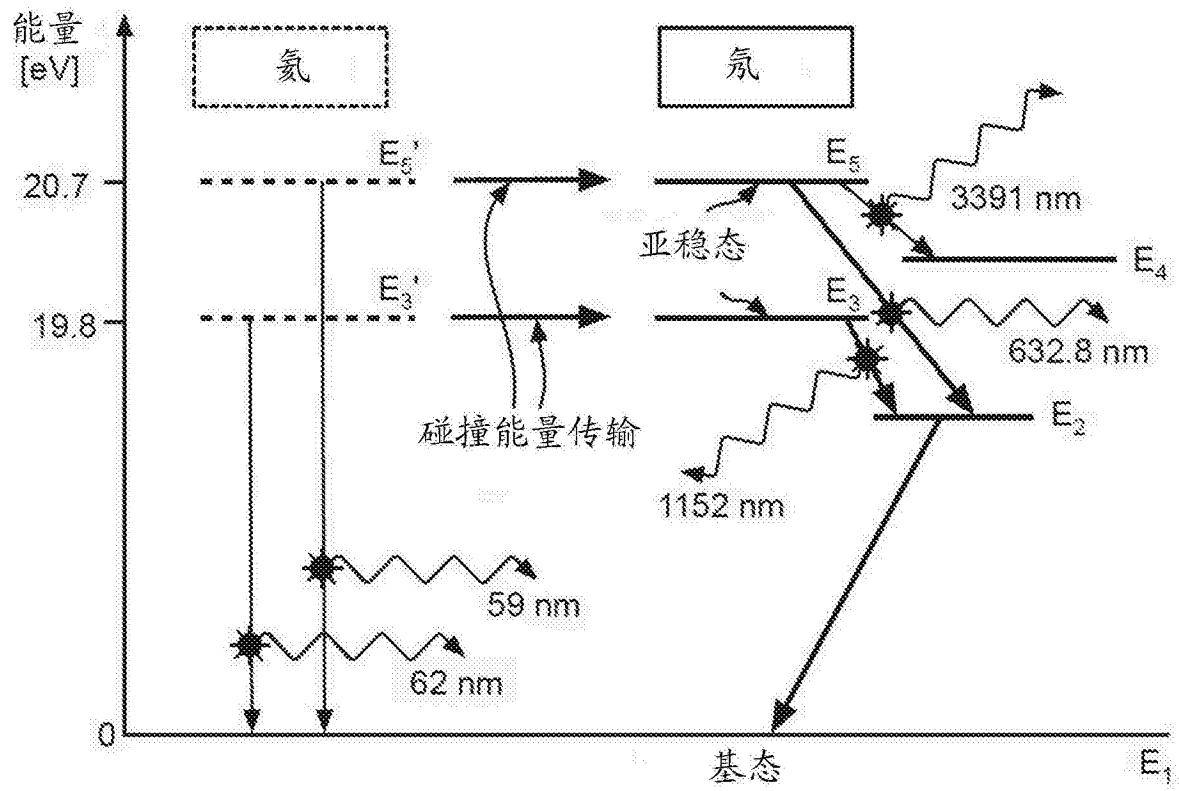


图2

在 He-Ne 等离子体中 632.8 nm Ne 线的辐射强度 (小间隙
电容耦合等离子体 (CCP) 反应器,
24 mm 间隙, 60MHz(b), 裸硅晶片, 100W(60))

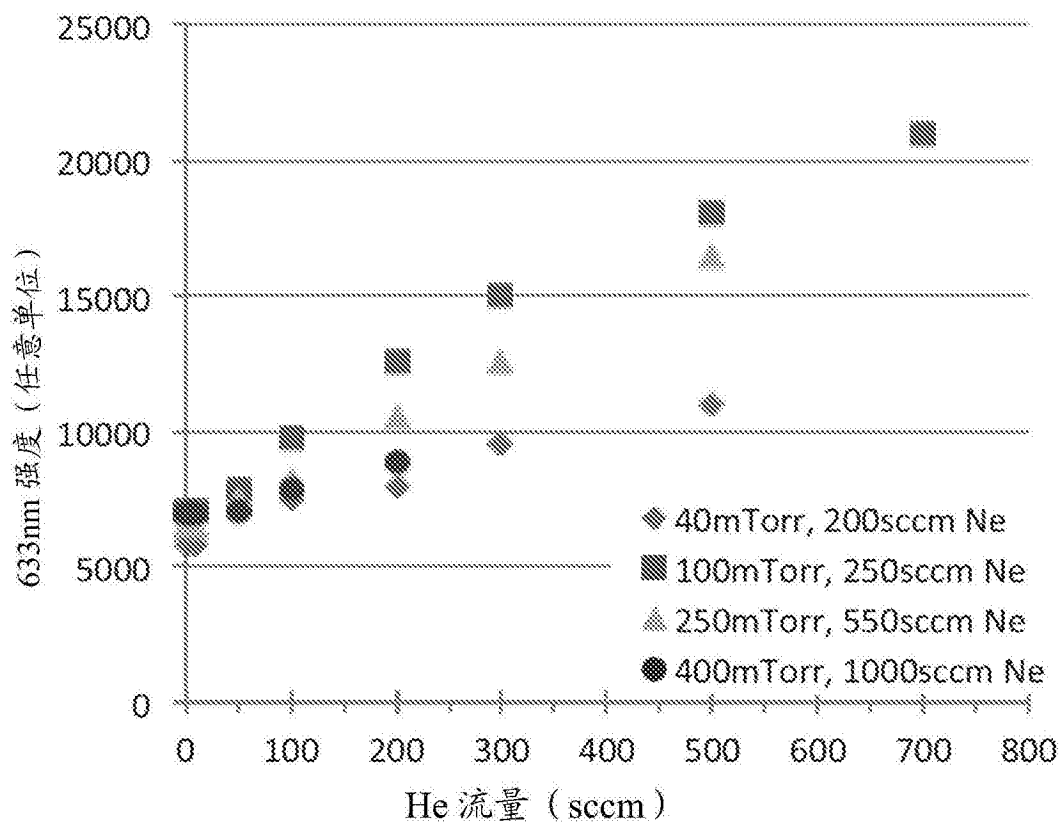


图3

在 He-Ne 等离子体中 632.8 nm Ne 线的辐射强度 (电感耦合等离子体 (ICP) 反应器,
80W TCP, 0W 偏置, 25kA TOX)

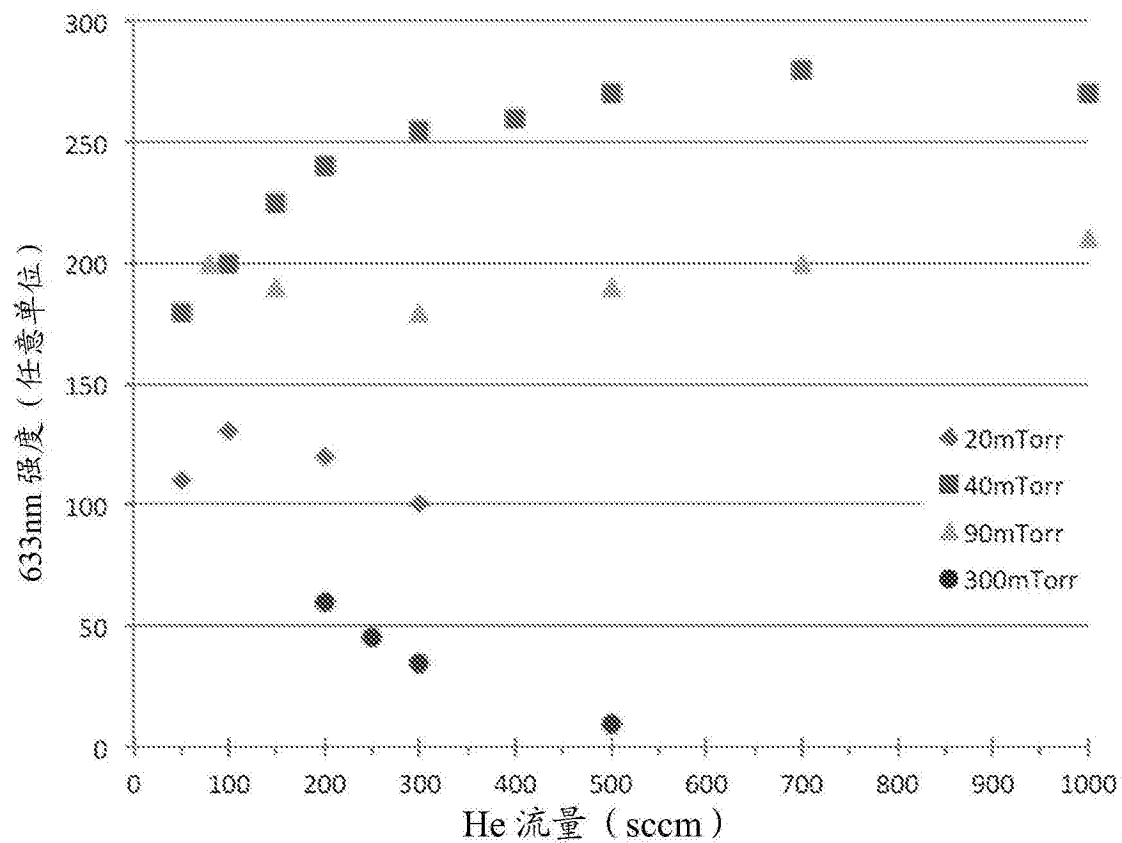


图4

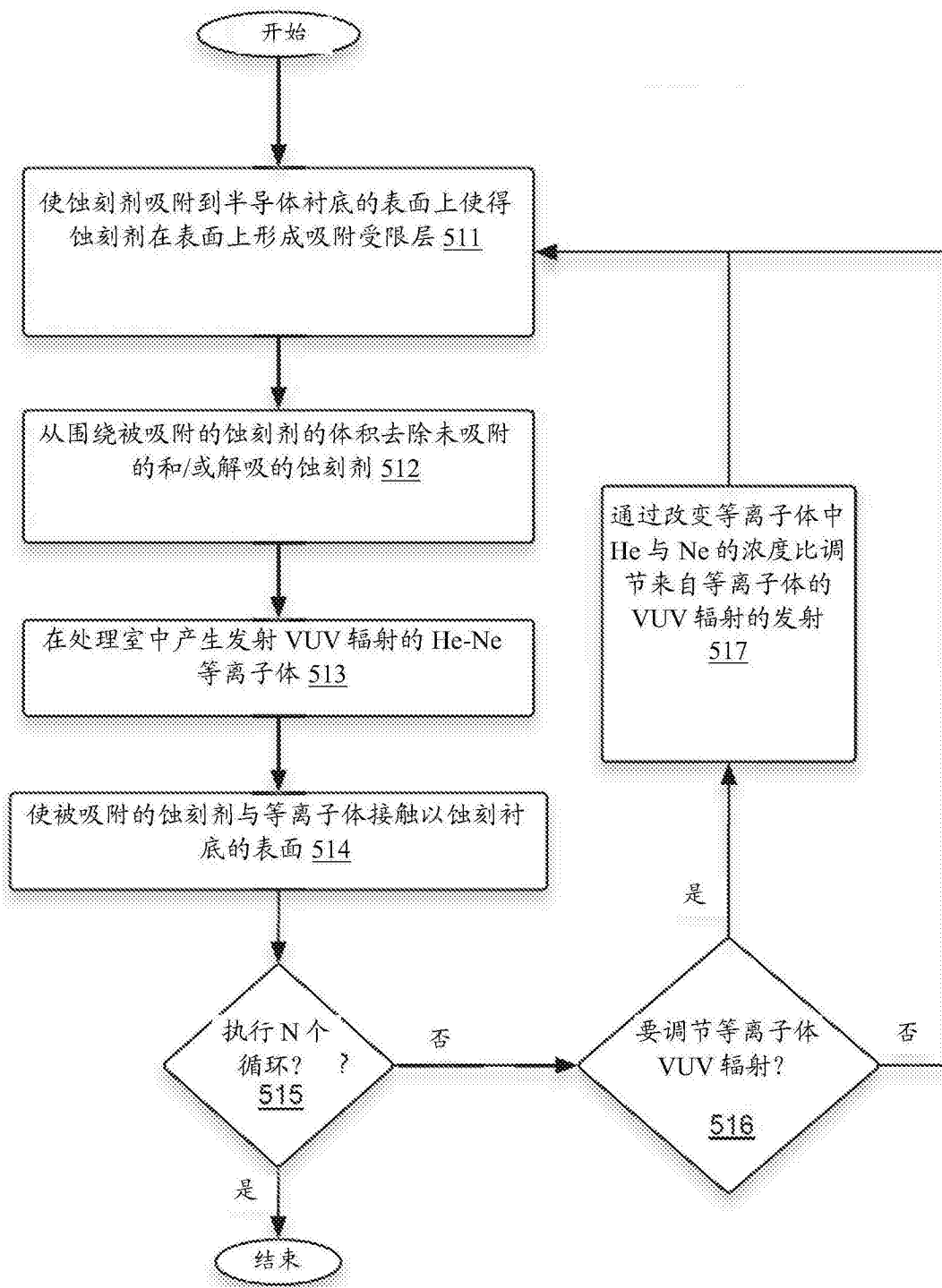


图5

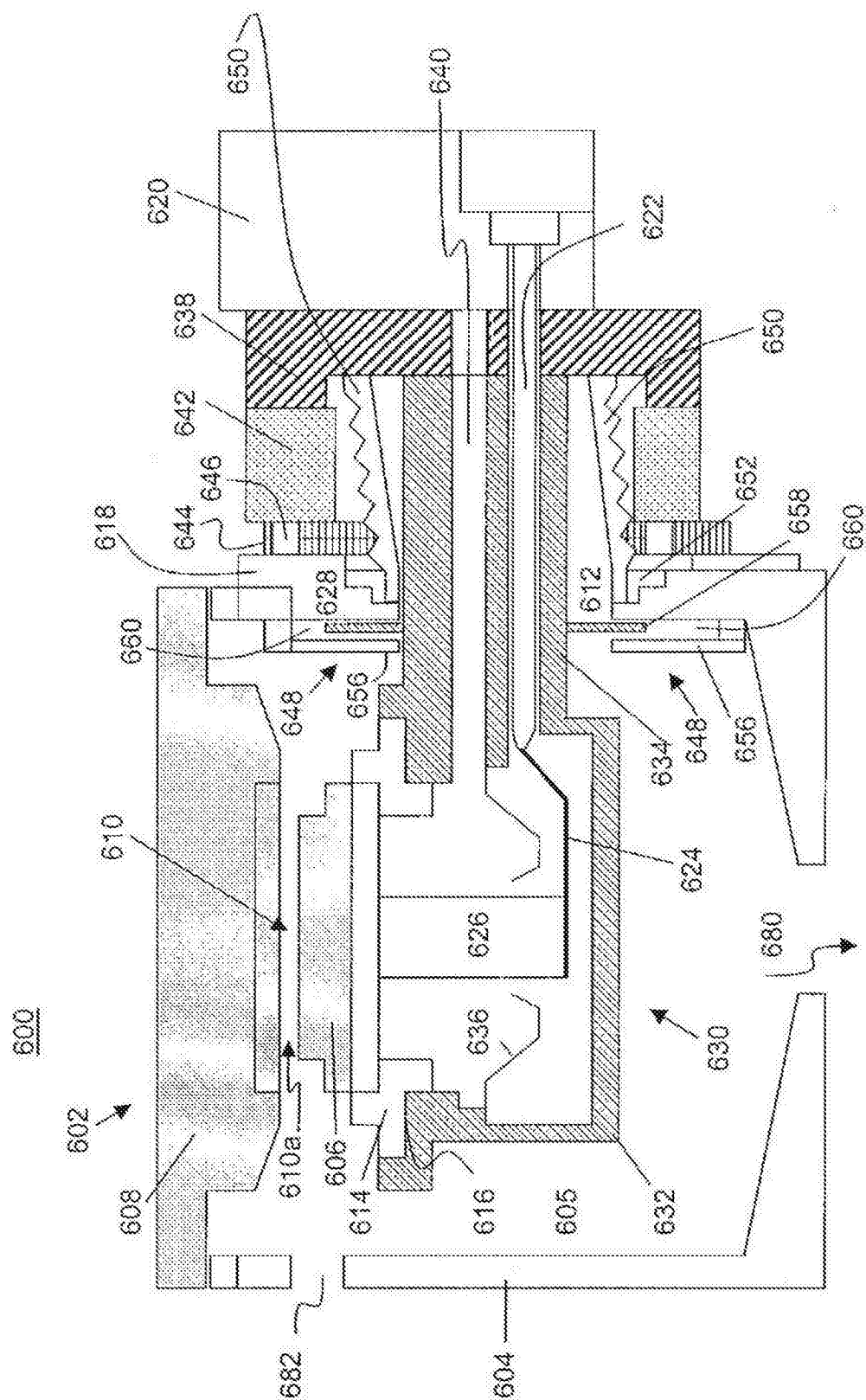


图6A

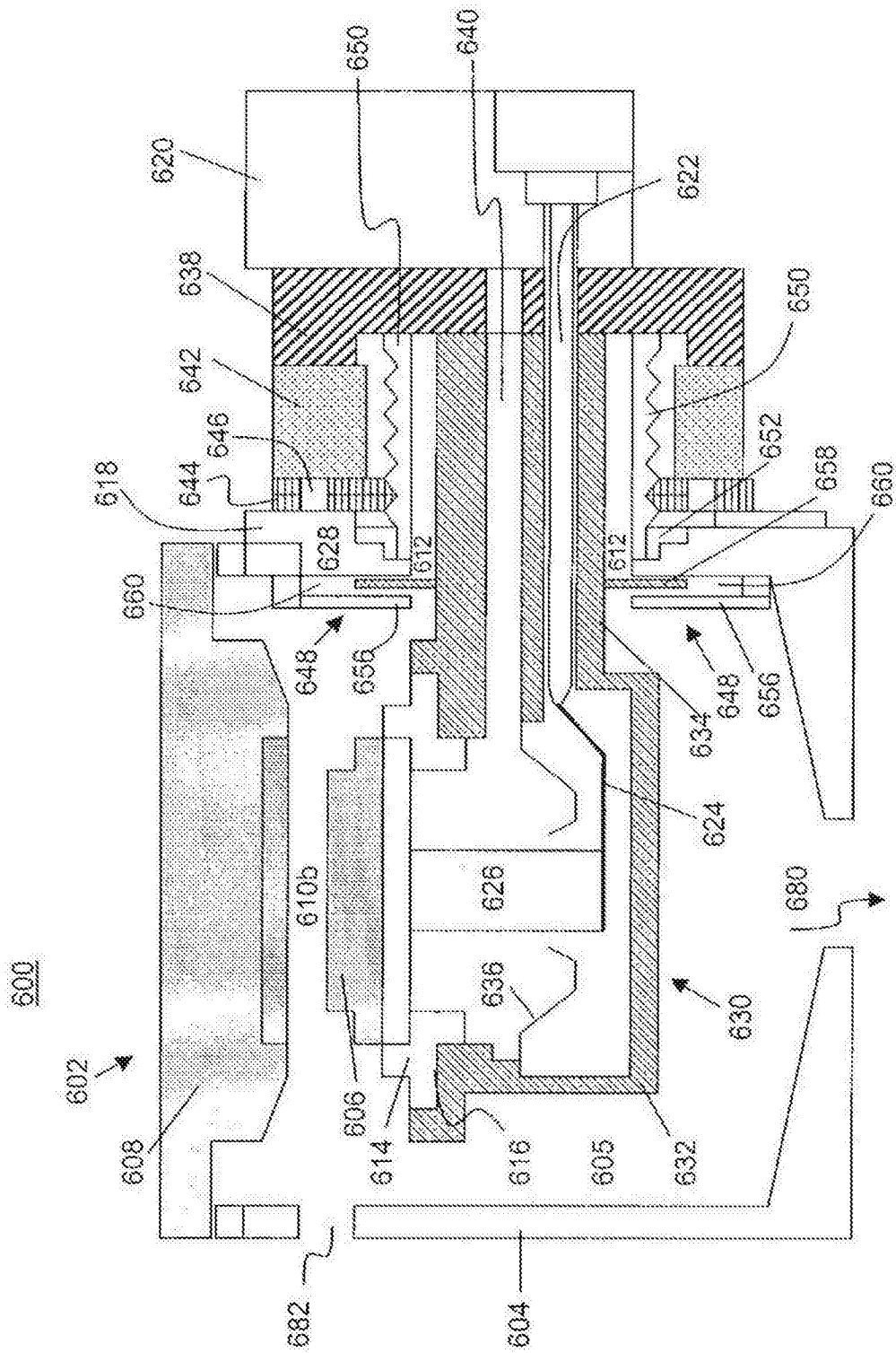


图6B

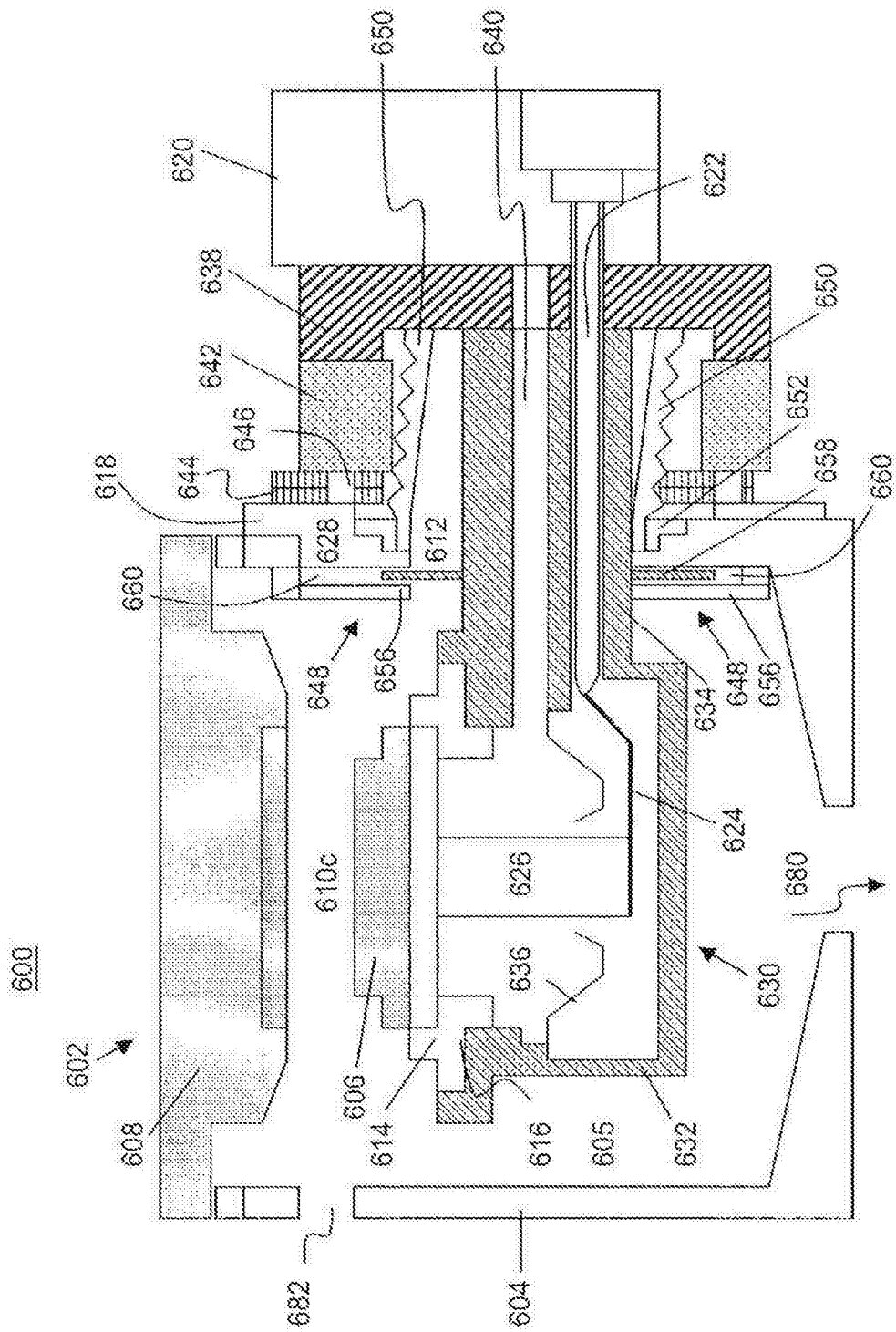


图6C

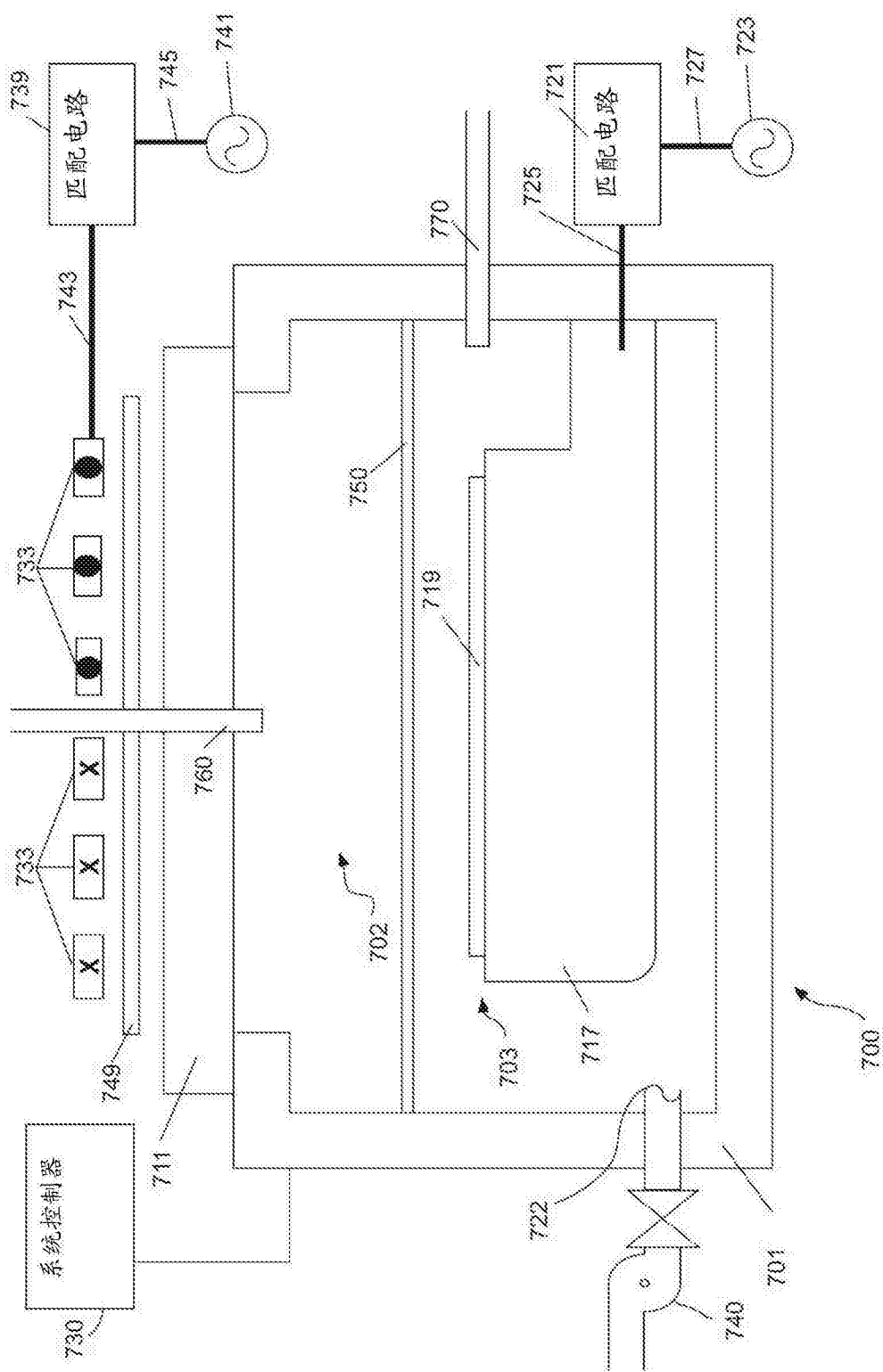


图7

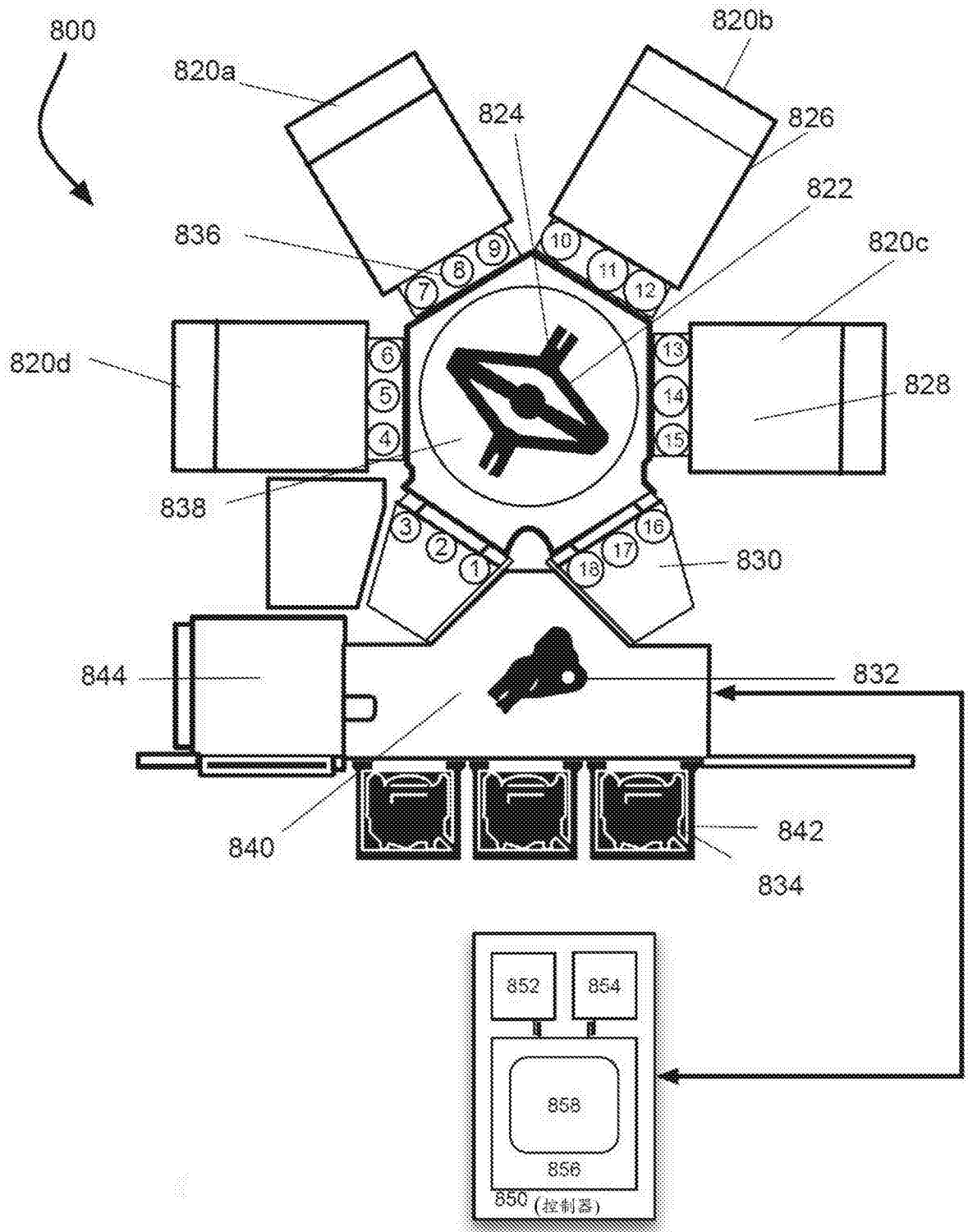


图8