



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115428124 A

(43) 申请公布日 2022. 12. 02

(21) 申请号 202180030068.2

(22) 申请日 2021.02.08

(30) 优先权数据

62/980,038 2020.02.21 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.10.21

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2021/017066 2021.02.08

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2021/167809 EN 2021.08.26

(71) 申请人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 希瓦南达·克里希南·卡纳卡萨巴

保蒂

阿希尔·辛格哈尔

艾伦·J·詹生 徐相俊

尼沙特·哈桑

斯里维迪亚·雷沃鲁

(74) 专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

专利代理师 李献忠 张华

(51) Int.Cl.

H01L 21/033 (2006.01)

H01L 21/311 (2006.01)

H01L 21/66 (2006.01)

H01L 21/02 (2006.01)

G01N 21/71 (2006.01)

G01N 21/73 (2006.01)

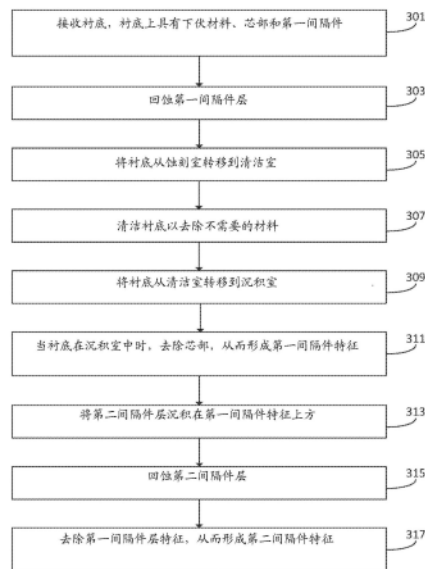
权利要求书2页 说明书21页 附图16页

(54) 发明名称

芯部去除

(57) 摘要

本文提供了用于处理衬底的方法、装置和系统。通常,该处理涉及间隔件累加 (SoS) 自对准四重图案 (SAQP) 技术。所公开的技术提供了一种新颖的工艺流程,该流程通过确保在将衬底转移到用于沉积第二间隔件层的沉积室之前不从衬底去除芯部来减少缺陷。这减少或消除了转移或清洁衬底时对衬底上的特征造成结构损坏的风险。当在清洁和转移之前将芯部从衬底上移除时,这种结构损坏很常见。



1. 一种处理衬底的方法,所述方法包括:
  - a) 接收衬底,所述衬底包含:
    - i. 下伏材料,
    - ii. 位于所述下伏材料上的芯部,所述芯部具有竖直定位的侧壁,以及
    - iii. 衬在所述芯部的所述侧壁上的第一间隔件材料;
  - b) 去除所述芯部,从而由先前衬在所述芯部的所述侧壁上的所述第一间隔件材料形成第一间隔件特征;以及
  - c) 在所述第一间隔件特征上沉积第二间隔件层,其中 (b) 和 (c) 在同一反应室中进行,并且其中所述衬底在 (b) 和 (c) 之间不从所述反应室中移出。
2. 根据权利要求1所述的方法,其还包括清洁所述衬底以从其去除不需要的材料,其中在 (b) 之前在湿式清洁操作中清洁所述衬底。
3. 根据权利要求1所述的方法,其还包括在所述芯部上沉积第一间隔件层,所述第一间隔件层包括所述第一间隔件材料,并回蚀刻所述第一间隔件层以从水平表面去除所述第一间隔件材料,同时留下在所述芯部的所述侧壁上的所述第一间隔件材料。
4. 根据权利要求1所述的方法,其还包括执行计量以确定在 (b) 期间去除所述芯部的时间。
5. 根据权利要求4所述的方法,其中执行计量包括执行光发射光谱测量。
6. 根据权利要求5所述的方法,其中执行光发射光谱测量包括监测与所述反应室中二氧化碳的存在相关的信号。
7. 根据权利要求4所述的方法,其中执行计量包括执行激光干涉测量。
8. 根据权利要求1-7中任一项所述的方法,其还包括在 (b) 之后且在 (c) 之前执行散射测量以测量所述第一间隔件特征中的一个或多个的宽度。
9. 根据权利要求1-7中任一项所述的方法,其中去除所述芯部包括:将所述衬底暴露于含氧等离子体以灰化所述芯部。
10. 根据权利要求1-7中任一项所述的方法,其中所述芯部包含碳,并且其中所述芯部的所述碳具有约50MPa或更小的沉积后覆盖应力,并且具有约30GPa或更大的杨氏模量。
11. 一种处理衬底的方法,所述方法包括:
  - a) 接收衬底,所述衬底包含:
    - i. 下伏材料,
    - ii. 位于所述下伏材料上的芯部,所述芯部具有竖直定位的侧壁,
    - iii. 衬在所述芯部的所述侧壁上的第一间隔件材料,
    - iv. 位于所述芯部和所述第一间隔件材料上方的平坦化层,所述平坦化层的顶部基本上是平坦的,
    - v. 位于所述平坦化层上方的掩模层,
    - vi. 开口,其被限定在所述掩模层和所述平坦化层中,所述开口位于第一间隔件材料上方,所述第一间隔件材料衬在所述芯部中的一者的所述侧壁中的一者上;
  - b) 去除与所述开口对应的位置处的所述第一间隔件材料;
  - c) 去除所述掩膜层;
  - d) 去除所述芯部和所述平坦化层,从而由在 (b) 中未被去除的剩余第一间隔件材料形

成第一间隔件特征,其中在对应于所述开口的位置处没有形成第一间隔件特征;以及

e) 在所述第一间隔件特征上沉积第二间隔件层,其中(d)和(e)在同一反应室中发生,并且其中所述衬底在(d)和(e)之间不从所述反应室中移出。

12. 根据权利要求11所述的方法,其中,同时去除所述芯部和所述平坦化层。

13. 根据权利要求11所述的方法,其中去除所述芯部和所述平坦化层包括:将所述衬底暴露于含氧等离子体以灰化掉所述芯部和所述平坦化层。

14. 根据权利要求11-13中任一项所述的方法,其还包括执行计量以确定在(d)中去除所述芯部和/或平坦化层的时间。

15. 根据权利要求11-13中任一项所述的方法,其还包括在(d)之后且在(e)之前执行散射测量以测量所述第一间隔件特征中的一个或多个的宽度。

16. 一种处理衬底的方法,所述方法包括:

a) 接收衬底,所述衬底包含:

i. 下伏材料,

ii. 位于所述下伏材料上的芯部,所述芯部具有竖直定位的侧壁,

iii. 衬在所述芯部的所述侧壁上的第一间隔件材料,以及

iv. 平坦化层,其位于所述下伏材料、所述芯部和所述第一间隔件材料上方,其中所述平坦化层被图案化以形成暴露区域和受保护区域;

b) 修整所述第一间隔件材料以减小所述暴露区域中的所述第一间隔件材料的厚度,而所述受保护区域中的所述第一间隔件材料保持未修整;

c) 去除所述平坦化层和所述芯部,从而由所述第一间隔件材料形成第一间隔件特征,其中所述第一间隔件特征具有不均匀的关键尺寸;以及

d) 在所述第一间隔件特征上方形成第二间隔件层,

其中(c)和(d)在同一反应室中进行,并且其中所述衬底在(c)和(d)之间没有从所述反应室中移出。

17. 根据权利要求16所述的方法,其还包括回蚀所述第二间隔件层,使得在相邻的第一间隔件特征之间的区域中去除所述第二间隔件层。

18. 根据权利要求17所述的方法,其还包括去除所述第一间隔件特征,从而由所述第二间隔件层形成第二间隔件特征,其中相邻的第二间隔件特征之间的距离由于所述第一间隔件特征的不均匀关键尺寸而不均匀。

19. 根据权利要求16-18中任一项所述的方法,其中,所述平坦化层和所述芯部被同时去除。

20. 根据权利要求19所述的方法,其中去除所述芯部和所述平坦化层包括:将所述衬底暴露于含氧等离子体以灰化掉所述芯部和所述平坦化层。

## 芯部去除

通过引用并入

[0001] PCT申请表作为本申请的一部分与本说明书同时提交。如在同时提交的PCT申请表中所标识的本申请要求享有其权益或优先权的每个申请均通过引用全文并入本文以用于所有目的。

### 背景技术

[0002] 随着半导体设备尺寸继续缩小,这种设备的制造变得越来越具有挑战性。出现问题的一个领域是半导体衬底上的特征图案化。诸如自对准双重图案化(SADP)和自对准四重图案化(SAQP)之类的多重图案化技术已被用于实现非常小的特征的特征的图案化。

[0003] 这里提供的背景描述是为了总体呈现本公开的背景的目的。当前指定的发明人的工作在其在此背景技术部分以及在提交申请时不能确定为现有技术的说明书的各方面中描述的范围之内既不明确也不暗示地承认是针对本公开的现有技术。

### 发明内容

[0004] 本文中的各种实施方案涉及用于在间隔件累加(spacer-on-spacer)自对准四重图案化方案中处理衬底的方法和装置。

[0005] 在所公开实施方案的一个方面中,提供了一种处理衬底的方法,所述方法包括:(a)接收衬底,所述衬底包含:(i)下伏材料,(ii)位于所述下伏材料上的芯部,所述芯部具有竖直定位的侧壁,以及(iii)衬在所述芯部的所述侧壁上的第一间隔件材料;(b)去除所述芯部,从而由先前衬在所述芯部的所述侧壁上的所述第一间隔件材料形成第一间隔件特征;以及(c)在所述第一间隔件特征上沉积第二间隔件层,其中(b)和(c)在同一反应室中进行,并且其中所述衬底在(b)和(c)之间不从所述反应室中移出。

[0006] 在一些实施方案中,该方法还包括清洁所述衬底以从其去除不需要的材料,其中在(b)之前在湿式清洁操作中清洁所述衬底。在这些或其他实施方案中,该方法还可以包括在所述芯部上沉积第一间隔件层,所述第一间隔件层包括所述第一间隔件材料,并回蚀刻所述第一间隔件层以从水平表面去除所述第一间隔件材料,同时留下在所述芯部的所述侧壁上的所述第一间隔件材料。

[0007] 在这些或其他实施方案中,该方法还可以包括执行计量以确定在(b)期间去除所述芯部的时间。在一些这样的情况下,执行计量可以包括执行光发射光谱测量。例如,执行光发射光谱测量可以包括监测与所述反应室中二氧化碳的存在相关的信号。在这些或其他实施方案中,执行计量可以包括执行激光干涉测量。在这些或其他实施方案中,该方法可以包括在(b)之后且在(c)之前执行散射测量以测量所述第一间隔件特征中的一个或多个的宽度。

[0008] 在这些或其他实施方案中,去除所述芯部可以包括:将所述衬底暴露于含氧等离子体以灰化所述芯部。在这些或其他实施方案中,所述芯部可以包含碳,其中所述芯部的所述碳具有约50MPa或更小的沉积后覆盖应力,并且具有约30GPa或更大的杨氏模量。

[0009] 在所公开实施方案的另一方面,提供了一种处理衬底的方法,所述方法包括:(a)接收衬底,所述衬底包含:(i)下伏材料,(ii)位于所述下伏材料上的芯部,所述芯部具有竖直定位的侧壁,(iii)衬在所述芯部的所述侧壁上的第一间隔件材料,(iv)位于所述芯部和所述第一间隔件材料上方的平坦化层,所述平坦化层的顶部基本上是平坦的,(v)位于所述平坦化层上方的掩模层,(vi)开口,其被限定在所述掩模层和所述平坦化层中,所述开口位于第一间隔件材料上方,所述第一间隔件材料衬在所述芯部中的一者的所述侧壁中的一者上;(b)去除与所述开口对应的位置处的所述第一间隔件材料;(c)去除所述掩膜层;(d)去除所述芯部和所述平坦化层,从而由在(b)中未被去除的剩余第一间隔件材料形成第一间隔件特征,其中在对应于所述开口的位置处没有形成第一间隔件特征;以及(e)在所述第一间隔件特征上沉积第二间隔件层,其中(d)和(e)在同一反应室中发生,并且其中所述衬底在(d)和(e)之间不从所述反应室中移出。

[0010] 在一些实施方案中,可以同时去除所述芯部和所述平坦化层。在这些或其他实施方案中,去除所述芯部和所述平坦化层可以包括:将所述衬底暴露于含氧等离子体以灰化掉所述芯部和所述平坦化层。在这些或其他实施方案中,所述方法还可以包括执行计量以确定在(d)中去除所述芯部和/或平坦化层的时间。在这些或其他实施方案中,所述方法还可以包括在(d)之后且在(e)之前执行散射测量以测量所述第一间隔件特征中的一个或多个的宽度。

[0011] 在所公开实施方案的另一方面,提供了一种处理衬底的方法,所述方法包括:(a)接收衬底,所述衬底包含:(i)下伏材料,(ii)位于所述下伏材料上的芯部,所述芯部具有竖直定位的侧壁,(iii)衬在所述芯部的所述侧壁上的第一间隔件材料,以及(iv)平坦化层,其位于所述下伏材料、所述芯部和所述第一间隔件材料上方,其中所述平坦化层被图案化以形成暴露区域和保护区域;(b)修整所述第一间隔件材料以减小所述暴露区域中的所述第一间隔件材料的厚度,而所述保护区域中的第一间隔件材料保持未修整;(c)去除所述平坦化层和所述芯部,从而由所述第一间隔件材料形成第一间隔件特征,其中所述第一间隔件特征具有不均匀的关键尺寸;以及(d)在所述第一间隔件特征上方形成第二间隔件层,其中(c)和(d)在同一反应室中进行,并且其中所述衬底在(c)和(d)之间没有从所述反应室中移出。

[0012] 在所公开的实施方案的另一方面中,提供了一种用于处理衬底的装置,该装置包括:(a)反应室;(b)位于所述反应室内的衬底支撑件;(c)等离子体发生器,其被配置为在所述反应室内产生等离子体;(d)所述反应室的一个或多个入口;(e)具有至少一个处理器的控制器,该处理器被配置为:(i)接收衬底,所述衬底包含:(1)下伏材料,(2)位于所述下伏材料上的芯部,所述芯部具有竖直定位的侧壁,以及(3)衬在所述芯部的所述侧壁上的第一间隔件材料;(ii)去除所述芯部,从而由先前衬在所述芯部的所述侧壁上的所述第一间隔件材料形成第一间隔件特征;以及(iii)在所述第一间隔件特征上沉积第二间隔件层,其中(e) (ii)和(e) (iii)在同一反应室中进行,并且其中所述衬底在(e) (ii)和(e) (iii)之间不从所述反应室中移出。

[0013] 在一些实施方案中,该装置还包括存储器。所述存储器和所述控制器可以相互通信连接。所述存储器可以存储用于控制所述处理器以引起本文所述的任何操作的计算机可执行指令。在其他情况下,这种计算机可执行指令可以存储在另一个位置(例如,在某些情

况下是远程位置)并且提供给所述处理器。

[0014] 在一些实施方案中,该装置还包括光发射光谱测量硬件和/或激光干涉测量硬件。在一些这样的实施方案中,所述控制器可以被配置为响应于来自所述光发射光谱测量硬件和/或来自所述激光干涉测量硬件的指示所述芯部被移除的反馈而使暴露于所述衬底的等离子体熄灭。在这些或其他实施方案中,所述装置还可以包括散射测量硬件。在一些这样的实施方案中,所述控制器可以被配置为在(e) (ii)之后且在(e) (iii)之前测量所述第一间隔件特征中的一个或多个的宽度。

[0015] 在所公开的实施方案的另一方面中,提供了一种用于处理衬底的装置,该装置包括:(a)反应室;(b)位于所述反应室内的衬底支撑件;(c)等离子体发生器,其被配置为在所述反应室内产生等离子体;(d)所述反应室的一个或多个入口;(e)具有至少一个处理器的控制器,该处理器被配置为:(i)接收衬底,所述衬底包含:(1)下伏材料,(2)位于所述下伏材料上的芯部,所述芯部具有竖直定位的侧壁,以及(3)衬在所述芯部的所述侧壁上的第一间隔件材料,(4)位于所述芯部和所述第一间隔件材料上方的平坦化层,所述平坦化层的顶部基本上是平坦的,(5)位于所述平坦化层上方的掩模层,以及(6)开口,其被限定在所述掩模层和所述平坦化层中,所述开口位于第一间隔件材料上方,所述第一间隔件材料衬在所述芯部中的一者的所述侧壁中的一者上;(ii)去除与所述开口对应的位置处的所述第一间隔件材料;(iii)去除所述掩膜层;(iv)去除所述芯部和所述平坦化层,从而由在(ii)中未被去除的剩余第一间隔件材料形成第一间隔件特征,其中在对应于所述开口的位置处没有形成第一间隔件特征;以及(v)在所述第一间隔件特征上沉积第二间隔件层,其中(iv)和(v)在同一反应室中发生,并且其中所述衬底在(d)和(e)之间不从所述反应室中移出。

[0016] 在一些实施方案中,所述控制器被配置为导致同时去除所述芯部和所述平坦化层。在这些或其他情况下,去除所述芯部和所述平坦化层可以包括:将所述衬底暴露于含氧等离子体以灰化掉所述芯部和所述平坦化层。在多种实施方案中,所述控制器可以被配置为导致执行计量以确定在(iv)中去除所述芯部和/或所述平坦化层的时间。在这些或其他实施方案中,所述控制器可以被配置为导致在(iv)之后且在(v)之前执行散射测量以测量所述第一间隔件特征中的一个或多个的宽度。

[0017] 在所公开的实施方案的另一方面中,提供了一种用于处理衬底的装置,该装置包括:(a)反应室;(b)位于所述反应室内的衬底支撑件;(c)等离子体发生器,其被配置为在所述反应室内产生等离子体;(d)所述反应室的一个或多个入口;(e)具有至少一个处理器的控制器,该处理器被配置为:(i)接收衬底,所述衬底包含:(1)下伏材料,(2)位于所述下伏材料上的芯部,所述芯部具有竖直定位的侧壁,以及(3)衬在所述芯部的所述侧壁上的第一间隔件材料;(4)位于所述芯部和所述第一间隔件材料上方的平坦化层,其中所述平坦化层被图案化以形成暴露区域和受保护区域;(ii)修整所述第一间隔件材料以减小所述暴露区域中的所述第一间隔件材料的厚度,而所述受保护区域中的第一间隔件材料保持未修整;(iii)去除所述平坦化层和所述芯部,从而由所述第一间隔件材料形成第一间隔件特征,其中所述第一间隔件特征具有不均匀的关键尺寸;以及(iv)在所述第一间隔件特征上方形成第二间隔件层,其中(iii)和(iv)在同一反应室中进行,并且其中所述衬底在(iii)和(iv)之间没有从所述反应室中移出。

[0018] 在某些实施方案中,所述控制器可以被配置为引起回蚀所述第二间隔件层,使得

在相邻的第一间隔件特征之间的区域中去除所述第二间隔件层。在一些这样的情况下,所述控制器可以被配置为导致去除所述第一间隔件特征,从而由所述第二间隔件层形成第二间隔件特征,其中相邻的第二间隔件特征之间的距离由于第一间隔件特征的不均匀的关键尺寸而不均匀。在这些或其他实施方案中,可以同时去除所述平坦化层和所述芯部。在这些或其他实施方案中,所述控制器可以被配置为使所述衬底暴露于含氧等离子体以灰化掉所述芯部和所述平坦化层。

[0019] 在所公开的实施方案的另一方面中,提供了一种用于处理衬底的装置,该装置包括:(a) 反应室;(b) 位于所述反应室内的衬底支撑件;(c) 等离子体发生器,其被配置为在所述反应室内产生等离子体;(d) 所述反应室的一个或多个入口;(e) 具有至少一个处理器的控制器,其中该控制器被配置为引起本文要求保护或以其他方式描述的任何方法。

[0020] 下面参考附图进一步描述这些和其他方面。

## 附图说明

[0021] 图1是描述间隔件累加(spacer-on-spacer)自对准四重图案化方法的流程图。

[0022] 图2A-2E示出了在经历图1的方法中的各个步骤时的半导体衬底。

[0023] 图3是描述使用替代工艺流程的间隔件累加自对准四重图案化的方法的流程图,其中芯部在第二间隔件沉积的原位去除。

[0024] 图4A-4F示出了在经历图3的方法中的各个处理步骤时的半导体衬底。

[0025] 图5是描述间隔件累加自对准图案化的方法的流程图,其中某些第一间隔件特征在它们被加倍之前以去除为目标。

[0026] 图6A-6I描绘了在经历图5的方法中的各个处理步骤时的半导体衬底。

[0027] 图7呈现可用于执行本文所述方法中的各种步骤的反应室。

[0028] 图8描绘了可用于执行本文所述方法中的各种步骤的多站处理工具。

[0029] 图9示出了可用于执行本文所述方法中的各种步骤的处理系统。

[0030] 图10A-10C示出了与图1和图2A-2E中描述的处理方案相关的实验结果。

[0031] 图11A-11C示出了与图3和4A-4F中描述的处理方案相关的实验结果。

[0032] 图12A-12H描绘了在经历图13的方法中的各个处理步骤时的半导体衬底。

[0033] 图13是描述产生具有不同关键尺寸的特征的图案化方法的流程图。

## 具体实施方式

[0034] 在以下描述中,阐述了许多具体细节以提供对所呈现的实施方案的透彻理解。可以在没有这些具体细节的一些或全部的情况下实践所公开的实施方案。在其他情况下,没有详细描述众所周知的工艺操作,以免不必要地使所公开的实施方案难以理解。尽管将结合具体实施方案来描述所公开的实施方案,但应当理解,其并非意在限制所公开的实施方案。

[0035] 图1是描述被称为间隔件累加自对准四重图案化的图案化技术的流程图。图2A-2E示出了在经历图1所示的操作时的衬底201。在图2A-2E的上下文中描述了图1的操作。首先,在操作101,接收衬底201。衬底201包括下伏材料202、芯部203和第一间隔件层204。如本文所使用的,短语下伏材料是指位于芯部下方的材料。参考图1,下伏材料202位于芯部203下

方。下伏材料202在芯部203形成之前被沉积,并且可以包括多种材料和结构。在多种示例中,下伏材料202包括一层或多层材料,例如介电材料,例如氧化硅、氮化硅、碳氮化硅和/或碳化硅。如下面进一步讨论的,选择下伏材料202的(一或多种)材料使得它们可以使用第二间隔件层205的材料作为掩模来蚀刻。

[0036] 第一间隔件层204保形地涂覆芯部203,如图2A所示。接下来,在操作103,第一间隔件层204被回蚀。第一间隔件层204的材料(有时称为第一间隔件材料)从水平定位的表面上被去除,而在垂直定位的表面上基本上被保留,如图2B所示。该蚀刻操作发生在被配置为执行蚀刻的反应室中。接下来,在操作105,去除芯部203,如图2C所示。在这一点上,第一间隔件层204的剩余部分是分离的和不同的垂直定位的特征,其可以被称为第一间隔件特征204'。

[0037] 在操作107中,衬底201在被配置为执行蚀刻的室中从其支撑件(通常称为静电卡盘)被移除,并且被转移到被配置为执行湿式清洁的另一个室。然后,在操作109,对衬底201进行湿式清洁操作以去除任何不需要的材料。如本领域技术人员应理解的,在一种情况下,在第一间隔件层204在操作103中被回蚀的同时,会产生这种不需要的材料。在另一种情况下,为去除芯部203而执行的操作105会导致不需要的材料,例如聚合物残留物,其可以在一个或多个清洁工艺中去除。接下来,在操作111,将衬底201从被配置为执行清洁的室转移到被配置为执行沉积的室。

[0038] 图2D示出了在已被转移以进行清洁、已清洁和已被转移以进行沉积之后衬底201。作用在衬底201上的各种力会导致第一间隔件特征204'不合乎期望地偏斜/倾斜,如图2D所示。例如,每次传送衬底201时都会发生机械振动。当衬底201从用于蚀刻衬底的衬底支撑件上移除时,这种机械振动在操作107中可能尤其成问题。蚀刻装置通常使用静电卡盘,其在处理期间通过施加差分电压将衬底201紧紧地固定到卡盘上。当衬底201被解除吸附(例如,从静电卡盘释放/移除)时,它会轻微跳跃。这种跳跃会导致衬底201中的机械振动,这会导致第一间隔件特征204'倾倒。类似地,在操作109的湿式清洁工艺期间和之后经历的毛细力会导致第一间隔件特征204'倾倒。例如,当来自湿式清洁工艺的溶剂在相邻的成对的第一间隔件特征204'之间干燥时,第一间隔件特征204'可能被朝向彼此拉动,从而导致它们倾斜或塌陷。

[0039] 在操作113中,第二间隔件层205沉积在第一间隔件特征204'上方,如图2E所示。希望保形地沉积第二间隔件层205。然而,因为第一间隔件特征204'被倾倒,所以在相邻的成对的第一间隔件特征204'之间形成空隙206。这些空隙206是不希望有的并且可能导致故障。

[0040] 图2A-2E示出了在间隔件累加SAQP技术期间经常发生的一个问题。应当理解,所示的倾倒问题不一定在衬底上的所有位置或每次执行该方法时发生。更确切地说,这些图旨在说明以下问题:通常发生在间隔件累加SAQP处理中,从而导致高缺陷率和相关的低良率。

[0041] 还应该理解的是,图2A-2E省略了通常在间隔件累加SAQP技术中执行的最后两个步骤,尽管在图1的流程图中描述了这些步骤。返回图1,这些步骤包括操作115以回蚀第二间隔件层205,从而将其从水平定位的表面上去除,同时在垂直定位的表面上使其基本完好无损。该步骤类似于操作103中第一间隔件层204的回蚀。接下来,在操作117中,去除第一间隔件层特征204'。该步骤类似于在操作105中去除芯部203。在去除第一间隔件特征204'之

后,第二间隔件层205的剩余(竖直定位)部分彼此分离且不同,从而形成第二间隔件特征(未图示)。图2A-2E省略了这最后两个步骤,因为图2E中的特征已经受损太大,无法进一步成功处理。如上所述,选择下伏材料202(或其顶部)的(一种或多种)材料使得下伏材料202可以使用第二间隔件特征作为掩模层来蚀刻。在一些情况下,下伏材料202包括一层或多层氮化硅、碳化硅和/或碳氮化硅。在一些这样的情况下,第二间隔件层205和第二间隔件特征是氧化硅。在一些其他情况下,第二间隔件层205和第二间隔件特征是氮化硅。在某些实现方案中可以使用其他材料的组合。

[0042] 为了克服以上关于图1和2A-2E描述的问题,使用了新的工艺流程。新的工艺流程延迟了芯部的去除,直到衬底被清洁并转移到室以沉积第二间隔件层。因此,芯部在转移和清洁操作期间提供结构支撑,从而使第一间隔件特征在这些步骤期间倾倒的风险最小化。因为在用于沉积第二间隔件层的同一室中去除芯部,所以认为芯部去除是在第二间隔件沉积的原位进行的。新的工艺流程导致制造缺陷显著减少,因此与传统技术相比,产量显著提高。

[0043] 图3呈现了根据本文的多种实施方案的用于执行间隔件累加自对准四重图案化的流程图。图4A-4F示出了经历图3中描述的方法时的部分制造的半导体设备。图3的操作在图4A-4F的背景中被描述。

[0044] 首先,在操作301,接收衬底401。衬底401包括下伏材料402、芯部403和第一间隔件层404。第一间隔件层404保形地涂覆芯部403,如图4A所示。通常,这些层中的每一层都可以使用常规材料。在一个实施方案中,芯部可以制造或可以包括一种可灰化的材料,在灰化工艺中不会留下任何不希望有的残余材料。如本文所定义的,灰化工艺是指一种剥离工艺,其在暴露于热或诸如含氧等离子体或含氢等离子体之类的等离子体时去除一种或多种有机材料,诸如光致抗蚀剂等。在一个示例中,芯部的材料可以包括或可以是选自元素周期表的IVA族,例如碳、硅、锗、锡、铅等。在一些示例中,芯部的材料可以包括氧化锡、氧化铅或它们的组合。也可以使用这些材料中的任何一些的组合。在一个具体示例中,芯部是通过旋涂、化学气相沉积或等离子体增强化学气相沉积(PECVD)方法形成的碳或基于碳的材料。在这些或其他示例中,第一间隔件层可以由诸如氮化硅、氧化钛、氧化锡、氧化钨或氧化锆之类的介电材料制成。可酌情使用其他材料。第一间隔件层可以通过原子层沉积或化学气相沉积(其中任一个可以由等离子体能量或热能驱动)来沉积。在一些情况下,该方法还可以包括在下伏材料402上形成芯部403和在芯部上沉积第一间隔件层404的步骤。

[0045] 接下来,在操作303,第一间隔件层404被回蚀。第一间隔件层404的材料(有时称为第一间隔件材料)从水平定位的表面上去除,同时基本保留在竖直定位的表面上,如图4B所示。该蚀刻操作发生在被配置为执行蚀刻的室中。可以通过将衬底暴露于蚀刻化学物质、等离子体和被配置为蚀刻第一间隔件层的材料的定向离子流的组合来回蚀刻第一间隔件层404。蚀刻工艺是各向异性蚀刻。

[0046] 接下来,在操作305,衬底401(例如,具有邻接芯部403的第一间隔件层404的剩余材料设置在下伏材料402上,如图4B所示)从被配置为进行蚀刻的室转移到被配置为进行清洁的室。在操作307,清洁衬底401以去除不需要的材料(未示出)。不需要的材料通常是由于在操作303中回蚀第一间隔件层而存在于衬底401上的材料。清洁工艺可以是湿式清洁工艺,例如使用HF进行。HF在水(例如去离子水)中稀释,通常以至少约10:1(水:HF)的比例,在

一些情况下为约300:1,在一些情况下高达约1000:1的比例稀释。在某些实施方案中,HF溶液可以是缓冲溶液。在这些或其他情况下,HF溶液可以包括温和的碱性试剂,例如氢氧化铵和/或过氧化氢。在某些情况下,清洁工艺可以是干式清洁工艺。在这种情况下,衬底可以暴露于等离子体以去除不需要的材料。

[0047] 在其他情况下,可以完全省略清洁工艺。例如,可以选择第一间隔件层404的材料和/或芯部403的材料,使得它们可以被干净地去除,例如,不会形成重新沉积在衬底上的非挥发性物质。在这样的实施方案中,在清洁操作中只有很少或没有不想要的材料需要去除。在省略清洁的实施方案中,与清洁相关的转移步骤同样可以省略。例如,参考图3,操作305、307和309可以用涉及将衬底从蚀刻室转移到沉积室的单个操作来代替。在另一示例中,蚀刻室和沉积室可以是相同的反应室。在这种情况下,可以完全省略操作305、307和309。

[0048] 省略清洁步骤的一个优点是其减少了衬底在不同室和/或工具之间转移的次数。这进一步降低了衬底上的任何特征在处理/转移期间受损的风险。在蚀刻室和沉积室是相同反应室(例如,反应室被配置为根据需要进行蚀刻和沉积)的一个示例中,省略清洁操作消除了操作303(例如,回蚀第一间隔件层)和操作311(去除芯部,从而形成第一间隔件特征)之间转移衬底的需要。

[0049] 返回图3的实施方案,在操作309,将衬底401从被配置为执行清洁的室转移到被配置为执行沉积的室。这可以是与用于沉积第一间隔件层相同或不同的室,也可以是与用于回蚀第一间隔件层相同或不同的室。

[0050] 值得注意的是,操作305、307和309都在芯部403仍然存在于衬底401上进行,如图4B所示。以这种方式,芯部403为第一间隔件层404/第一间隔件特征404'提供机械支撑,防止它们在转移和清洁操作期间发生不希望的倾倒。一旦衬底被转移到将沉积第二间隔件层的沉积室(在下文进一步讨论),芯部403在操作311中被去除,如图4C所示。可以通过诸如灰化之类的干式工艺去除芯部。此时,第一间隔件层404的剩余部分是分离的和不同的竖直定位的特征,其可以被称为第一间隔件特征404'。可以通过将衬底暴露于被配置为去除芯部材料的等离子体来去除芯部403。如上所述,在一个示例中,芯部403是碳或基于碳的材料,并且可以通过将衬底暴露于含氧等离子体来去除。示例性反应物包括 $O_2$ 和其他含氧物质。在一些其他示例中,芯部403可以包括一种或多种金属氧化物材料(例如,氧化锡、氧化铅等),并且可以通过将衬底暴露于含氢等离子体来去除。可以使用的示例性反应物包括 $H_2$ 、 $NH_3$ 、 $CH_4$ 和其他含氢物质。在特定示例中,等离子体包括 $H_2$ 和 $N_2$ 的混合物。可以适当地使用氧化和还原等离子体来去除特定的芯部材料。

[0051] 然后,在操作313,第二间隔件层405沉积在第一间隔件特征404'上方,如图4D所示。第二间隔件层405可以通过原子层沉积或化学气相沉积(其中任一种可以由等离子体能量或热能驱动)来沉积。第二间隔件层405可以是介电材料,例如氧化硅、氮化硅、氧化钛、氧化锡、氧化锆、氧化钨等。通常,第一间隔件层404的材料应具有与第二间隔件层405的材料不同的成分。可以将各种材料组合用于第一和第二间隔件层404和405。

[0052] 在一个示例中,芯部403为碳或基于碳的材料,第一间隔件层404为氧化锡或氧化钛,而第二间隔件层405为氧化硅或氮化硅。在另一示例中,芯部403为碳或基于碳的材料,第一间隔件层404为氧化硅或氮化硅,而第二间隔件层405为氧化锡、氧化钛或氧化铅。在另一示例中,芯部403为氧化锡、氧化铅或其组合,第一间隔件层404为氧化钛,第二间隔件层

405为任何氧化物(例如,氧化硅、金属氧化物等)或氮化硅。

[0053] 图3中描述的工艺流程确保了第一间隔件特征404'保持竖直,而不会如相对于图1和图2D所描述的那样倾倒。这样,第二间隔件层405共形地沉积在第一间隔件特征404'上,而没有形成相对于图2E描述的空隙或其他不希望有的缺陷。

[0054] 接下来,在操作315,第二间隔件层405被回蚀,如图4E所示。回蚀操作从水平表面去除第二间隔件层405,同时基本上将其保留在竖直表面上。可以通过将衬底暴露于蚀刻化学物质、等离子体和被配置为蚀刻第二间隔件层的材料的定向离子流的组合来回蚀刻第二间隔件层405。蚀刻工艺是各向异性蚀刻工艺。

[0055] 在操作317,去除第一间隔件特征404',如图4F所示。此时,第二间隔件层405的其余部分彼此分离且不同,形成第二间隔件特征405'。可以通过在低偏置(例如, $\leq 10V$ )各向同性选择性蚀刻中灰化/挖掘来去除第一间隔件特征404'。第一间隔件特征404'被选择性地去除而不显著蚀刻衬底401的下伏材料402或第二间隔件特征405'。

[0056] 如上所述,芯部可以是碳或含碳材料,或金属氧化物材料。在多种实施方案中,芯部可以具有特定的材料特性。例如,芯部的材料可以表现出相对低的应力(例如,具有绝对值为约50MPa或更小的沉积后覆盖应力)和高杨氏模量(例如,大于30GPa)。在某些实施方案中,芯部的材料可以是可灰化的,例如当暴露于例如含氧等离子体或含氢等离子体之类的等离子体时。灰化反应使得由至少一种固相反应物产生挥发性产物,几乎不形成或不形成可重新沉积在衬底上的聚合物或其他非挥发性物质。在碳或含碳芯部的情况下,碳可以与含氧等离子体反应以形成挥发性二氧化碳。在基于金属氧化物的芯部的情况下,可以用含氢等离子体去除金属氧化物。

[0057] 如图4A-4F所示,所公开的工艺流程可用于使衬底表面上存在的特征数量变为四倍。该工艺通常被称为间隔件累加(Spacer-on-Spacer (SoS))自对准四重图案化(SAQP)。如图3所示的具体工艺流程方法可称为原位芯部牵引至第二间隔件沉积(CoPS)。该名称源于芯部被在第二间隔件沉积的原位(例如,在与第二间隔件沉积相同的室中)去除的事实。CoPS工艺流程可显著减少制造缺陷,从而最大限度地减少非功能性的衬底/设备的数量,减少浪费并提高效率。结果,降低了制造成本。

[0058] 应理解,尽管图3和4A-4F列出了许多不同的步骤,但在各种实施方案中可以省略某些操作。类似地,在一些实施方案中可能会发生额外的步骤。参考图3,一个实施方案仅涉及操作311。另一个实施方案涉及操作311和313。另一个实施方案涉及操作311、313和315。另一个实施方案涉及操作311、313、315和317。可以修改这些实施方案中的任何一个以包括操作301、303、305和307中的任何一个或多个。

[0059] 图3和4A-4F中描述的工作流程在希望特征数量翻两番的情况下(例如在存储器设备的制造中)工作良好。一些其他设备(例如,逻辑设备)可能具有更复杂的结构,并且在这种情况下,可能希望特征的数量增加至不到四倍。在这种情况下,某些特征(例如,第一间隔件特征)可能会在它们被用于加倍图案之前被移除。图5是描述这样的实施方案的流程图,有时称为剪切掩模集成方案。图5的方法是在图6A-6I的背景中解释的,其示出了在经历图5的操作时的部分制造的半导体设备。一般而言,图5中的许多操作类似于图3中的那些,并且关于图3提供的细节也适用于图5的方法。为简洁起见,在图5的描述中省略了许多这样的细节。

[0060] 图5的方法开始于操作501,其中接收衬底601。衬底601包括下伏层602、芯部603和第一间隔件层604,如图6A所示。图中省略了与芯部603和第一间隔件层604的沉积以及第一间隔件层604的回蚀(类似于操作303)相关的步骤,尽管这些步骤可以包括在某些实施方案中。附图中也省略了某些衬底转移步骤,但应理解,对于每个步骤而言,衬底根据需要转移到不同的工具。该方法继续进行操作502,其中衬底进行清洁以去除不需要的材料。这种不需要的材料在第一间隔件层604的回蚀期间经常产生。如参考图3所讨论的,在某些实施方案中可以省略清洁操作502。

[0061] 方法继续进行操作503,其中平坦化层607、中间层608和图案化光致抗蚀剂层609依次设置在衬底601上,如图6B所示。在许多情况下,平坦化层607是旋涂碳或旋涂玻璃,该旋涂碳或旋涂玻璃是自平坦化的。替代地,平坦化层607可以通过化学气相沉积或其他方法沉积。平坦化层607的顶表面/部分通常是平坦的。平坦化层607也可以称为掩模或阻挡掩模。各种不同的传统材料可用于中间层608,其可通过旋涂技术、PECVD技术等沉积。光致抗蚀剂609可以是任何类型的光致抗蚀剂。在特定实施方案中,光致抗蚀剂609是极紫外(EUV)光致抗蚀剂。这种EUV光致抗蚀剂可以使用目前使用和开发的标准13.5nm EUV波长进行曝光。但是,在某些情况下可能会使用其他辐射源,包括DUV(深紫外),其通常是指使用248nm或193nm准分子激光源,X射线,其正式包括在X射线范围的低能量范围内的EUV,以及电子束,其可以覆盖很宽的能量范围。

[0062] 光致抗蚀剂被沉积,然后被图案化以包括开口610作为操作503的一部分。在这个示例中,开口610位于剩余的第一间隔件层604的从左边数的第三部分上方。在其他实施方案中,开口610可以在别处。通过该定位,开口610将用于去除剩余的第一间隔件层604的第三部分,从而防止在该位置形成第一间隔件特征604',如下文进一步描述的。

[0063] 值得注意的是,操作502和503在芯部603仍然存在于衬底601上时发生。这确保芯部603在转移和清洁操作期间为第一间隔件层604的剩余部分提供机械支撑。在更常规的工艺流程中,芯部603将在衬底被清洁之前(例如,在操作502之前),在第一间隔件层604被回蚀刻之后(例如,在操作501之后)立即被去除(从而形成第一间隔件特征604')。在清洁之后,平坦化层607将另外沉积在去除了芯部603的位置。作为常规工艺流程的结果,第一间隔件特征604'在各种转移和清洁操作期间将缺乏机械支撑,使它们容易倾倒,如关于图2D所描述的。相反,通过在衬底转移、清洁和平坦化层607、中间层608和光致抗蚀剂609的沉积过程中维持芯部603,图5的工艺流程确保了第一间隔件层604的剩余部分通过各种处理步骤得到充分支撑,防止它们倾倒并导致进一步的处理问题。

[0064] 图5的方法继续操作505,其中,中间层608在开口610的位置处被蚀刻,如图6C所示。光致抗蚀剂609用作掩模,保护中间层608的剩余部分。然而,当中间层608在操作505中被蚀刻时,可以部分或完全去除光致抗蚀剂609。蚀刻操作可以包括将衬底暴露于被配置为去除开口610处的中间层的材料的化学物质和/或等离子体。蚀刻工艺可以是选择性的,因为蚀刻中间层608的材料的程度比诸如光致抗蚀剂609之类的其他材料大。

[0065] 接下来,该方法继续操作507,其中平坦化层607在开口610的位置处被蚀刻,如图6D所示。在蚀刻平坦化层607时,中间层608(以及任何剩余的光致抗蚀剂609)充当掩模。因此,中间层608也可以称为掩模或掩模层。通过将衬底暴露于被配置为去除平坦化层607的化学物质和/或等离子体,可以在开口610处去除平坦化层607。蚀刻工艺可以是选择性的,

因为它蚀刻平坦化层607的程度比例如中间层608之类的其他材料大。在一个示例中,将衬底暴露于含氧等离子体以去除开口610处的平坦化层607。中间层608的一些部分会在操作507期间被去除。此时,平坦化层607的顶部部分基本上是平坦的(例如,除了开口610之外它是平坦的)。

[0066] 然后,在操作509,在开口610的位置处去除剩余的第一间隔件层604的一部分,如图6E所示。中间层608在该操作期间充当掩模,并且可以在该步骤期间被全部或部分去除。在多种实施方案中,中间层608在操作509期间被完全去除。在这种情况下,剩余的平坦化层607可以充当掩模以保护衬底601上除开口610之外的位置处的各种特征/结构。蚀刻工艺可以涉及将衬底暴露于化学物质和/或等离子体,该化学物质和/或等离子体被配置为去除第一间隔件层604的材料的程度比去除诸如中间层608和/或平坦化层607之类的其他材料的程度大。

[0067] 此时,第一间隔件层604对应于开口610的位置的部分被完全去除。因此,第一间隔件层604将不会在该位置形成第一间隔件特征604'。为了去除开口610处的第一间隔件层604,可以将衬底暴露于被配置为去除第一间隔件层604的材料的化学物质和/或等离子体。换句话说,蚀刻工艺是选择性的。

[0068] 该方法继续操作511,其中去除芯部603和剩余的平坦化层607,如图6F所示。此时,第一间隔件层604的其余部分是彼此分离且不同,并且可以被称为第一间隔件特征604'。通常,芯部603和平坦化层607通过诸如灰化之类的干式工艺被去除。在一个实施方案中,芯部603和平坦化层607在单个步骤中被一起去除。在另一个实施方案中,可以在去除平坦化层607之后去除芯部603。在常规工艺流程中,此时芯部603已经被平坦化层607替代,因此,仅使用单个灰化步骤。

[0069] 此时,图6F的衬底601类似于图4C的衬底501。也就是说,衬底601包括下伏材料602和第一间隔件特征604'。该方法继续进行类似于图3和4D-4F中描述的那些步骤。在操作513,第二间隔件层605沉积在第一间隔件特征604'上方,如图6G所示。在操作515,第二间隔件层605被回蚀,如图6H所示。在操作517,去除第一间隔件特征604',如图6I所示。此时,第二间隔件层605的剩余部分彼此分离且不同,并且可以称为第二间隔件特征605'。

[0070] 如图6A-6I所示,在图5中描述的工艺流程使衬底601上存在的特征数量增加到三倍(例如,衬底以两个特征开始并以六个特征结束)。当然,在实践图5的方法时可以使用任意数量的开口610,以根据特定应用的需要去除目标特征(例如,第一间隔件特征)。一般而言,图5的方法可用于将衬底上的特征数量增加到3:1至4:1的倍数,具体取决于在光致抗蚀剂609中提供的开口610的数量。所得特征的布局可以基于开口610的定位来控制。

[0071] 图13呈现了描述处理半导体衬底的方法的流程图,其中衬底被图案化以包括具有非均匀关键尺寸的特征。与图3和图5中描述的方法类似,图13的方法确保芯部通过几个处理步骤仍保持在衬底上,从而允许芯部为相邻结构提供机械支撑,因而防止这种结构坍塌。图12A-12H描绘了在经历图13的方法时的部分制造的半导体衬底。为了清楚起见,这些图将一起描述。

[0072] 图13的方法开始于操作1301,其中衬底1201被接收在反应室中。例如,衬底1201可以定位在衬底支撑件上。如图12A所示,衬底1201包括下伏材料1202、芯部1203和第一间隔件层1204。接着,在操作1303,第一间隔件层1204被回蚀,如图12B所示。例如,该操作类似于

图3的操作303中的第一间隔件层的回蚀。在操作1305,衬底经受清洁以去除不需要的材料,例如,该材料可能在操作1303的第一间隔件层的回蚀期间产生。接下来,在操作1307,平坦化层1205被沉积和图案化,如图12C所示。平坦化层1205类似于图6B-6E的平坦化层607,并且可以通过类似的技术来图案化(例如,一个或多个附加层可以与光刻组合使用)。

[0073] 平坦化层1205被图案化以暴露下伏结构的特定部分,如图12C所示。特别地,平坦化层1205被图案化以限定衬底上的暴露区域(例如,平坦化层1205已被去除的地方)和受保护区域(例如,平坦化层保留的地方)。如下文进一步解释的,这允许形成具有非均匀关键尺寸的特征。

[0074] 在操作1309,通过暴露于离子、化学品和/或等离子体1206来修整第一间隔件层1204的暴露部分,以减小暴露区域中的第一间隔件层1204的厚度。图12C描绘了在该修整操作1309开始时的衬底1201,而图12D描绘了在该修整操作1309结束时的衬底1201。在修整之前,第一间隔件层1204在第一间隔件层1204保留的所有区域处具有厚度A。在平行于衬底表面的方向上测量厚度。修整后,第一间隔件层1204在受保护区域具有厚度A,而在暴露区域具有较窄的厚度A'。此时,这些变窄的特征可以被称为经修整的第一间隔件1204'。虽然图12D-12H描绘了三个相邻的经修整的第一间隔件1204',但应理解可使用任何数量的经修整的第一间隔件1204',并且它们可形成为用于特定应用的任何所需布局。

[0075] 接下来,在操作1311,去除平坦化层1205,如图12E所示。该步骤类似于在图5的操作511中去除平坦化层。在操作1313,芯部1203被移除,如图12F所示。该步骤类似于图5的操作511中的芯部的移除。在一些情况下,平坦化层1205和芯部1203可以在分开的步骤中去除,而在其他情况下,这些可以在单个步骤中一起去除。在去除芯部1203之后,由第一间隔件层1204的剩余未修剪部分形成的特征以及由修剪后的第一间隔件1204'形成的特征彼此分离且不同,并且可以被称为第一间隔件特征。

[0076] 图12F清楚地描绘了第一间隔件特征的非均匀关键尺寸。特别地,由未经修整的第一间隔件层1204形成的第一间隔件特征(以浅灰色显示)具有厚度A,而由经修整的第一间隔件1204'形成的第一间隔件特征(以深灰色显示)具有较窄的厚度A'。

[0077] 在操作1315,沉积第二间隔件层1207,如图12G所示。第二间隔件层1207具有厚度B。该沉积类似于图3的操作313和图5的操作513中的第二间隔件层的沉积。接着,在操作1317,回蚀第二间隔件层1207,如图12H所示。该回蚀类似于图3的操作315和图5的操作515。图12H所示的衬底1201上有两种不同类型的特征,具有不同的关键尺寸。一种类型的特征具有厚度A+2B,并且形成在存在平坦化层1205的区域中以在操作1309中的修整期间保护下伏的结构。另一种类型的特征较窄,具有厚度A'+2B,并且形成在去除平坦化层1205以暴露下伏的结构并且在第一间隔件层1204的部分被修整以形成经修整的第一间隔1204'的区域中。

[0078] 在某些实施方案中,可以省略操作1315和1317。即使没有第二间隔件层1207的沉积,也可以形成具有不同关键尺寸的特征,例如如图12F所示。在一些实施方案中,可以发生额外的操作。作为一个示例,可以在操作1317之后去除来自第一间隔件层1204和经修整的第一间隔1204'的材料。这将产生具有均匀厚度B但相邻特征组之间的间距不同的特征。例如,某些相邻特征组将相隔距离A,而其他相邻特征组将相隔距离A'。

[0079] 关于图13与图12A-12H所示方法的一个显著特征是,芯部1203通过几个处理步骤

保留在衬底1201上,包括在操作1303中回蚀第一间隔件层1204,在操作1305中清洁衬底1201,在操作1307中沉积和图案化平坦化层1205,以及在操作1309中修整第一间隔件层1204的暴露部分以形成经修整的第一间隔件1204'。此外,图13中概述的处理步骤中的许多可以在用于沉积第二间隔件层1207的反应室中进行。例如,至少在操作1309中修整第一间隔件层1204、在操作1311中去除平坦化层1205、在操作1313中去除芯部1203以及在操作1315中沉积第二间隔件层1207这些步骤都可以在该反应室中完成。通过确保芯部1203保留在衬底1201上直到衬底1201被转移到用于沉积第二间隔件层1207的反应室之后,特征塌陷的风险被显著降低或消除。这种风险降低了,因为当相关特征缺乏足够的支持时衬底不经受转移、清洁或其他可能导致塌陷的操作。

[0080] 当实践本文的实施方案时可以使用各种类型的反馈。例如,当去除芯部时(例如,在操作311、511或1313中),反馈可用于确定芯部材料从衬底充分移除的时间。基于各种因素,发生这种情况所需的时间可能每天都在变化,甚至可能因衬底而异。可用于监测芯部去除工艺的示例性反馈方法包括光发射光谱测量法(OES)和激光干涉测量法(LSR)。实时反馈在这种情况下是有用的,因为它允许在芯部被充分去除后立即停止芯部去除工艺,从而最大限度地减少衬底上,特别是在第一间隔件特征上的过度等离子体暴露(和/或其他苛刻的处理条件)。在许多实施方案中,芯部去除工艺涉及将衬底暴露于等离子体(例如,含氧等离子体),有时称为灰化等离子体。可以通过简单地熄灭等离子体来停止芯部去除工艺。可以响应于来自OES和/或LSR设备的反馈指示芯部移除工艺完成或基本完成而停止芯部移除工艺。

[0081] 在这种背景下,光发射光谱测量法涉及监测暴露于衬底以去除芯部的等离子体的光发射。当芯部与等离子体反应时,芯部材料会反应离开,形成通过真空连接从室中移除的气相产物。监测光发射光谱以检测气相产物的存在和相对浓度。气相产物通常在接近去除工艺开始时浓度(以及在特定波长处测得的线强度)增加,然后达到稳定状态,然后在去除工艺接近完成时减少。一旦特定气相产物的测量强度下降到阈值水平,则其意味着芯部材料被去除并且衬底进一步暴露于等离子体是不必要的(并且可能有害)。在一个示例中,芯部是碳或基于碳的材料,并且去除芯部涉及灰化碳以形成气相二氧化碳。在二氧化碳发射的波长处监测等离子体的光发射光谱。最初,二氧化碳信号随着芯部的碳反应以形成二氧化碳而上升。二氧化碳信号达到稳定状态,此时二氧化碳的产生速度与从室中去除的速度相同。最后,二氧化碳信号开始向0下降,这表明二氧化碳从室中去除的速度快于其产生的速度,这意味着去除工艺已完成或接近完成。类似的技术可以与其他类型的芯部材料和灰化等离子体一起使用。

[0082] 如上所述,可用于检测芯部去除工艺的终点的另一种反馈涉及激光干涉测量。在这种情况下,激光干涉测量包括将一束或多束激光照射到衬底上(如果使用单个激光,则将激光分成两束或多束),将光束从衬底反射回来,并监测从衬底返回的干涉图案。该技术检查晶片表面上的光子-物质相互作用,并且可用于检测芯部去除工艺何时完成。

[0083] 可以在本文的任何实施方案中使用的另一种反馈涉及光学关键尺寸计量(OCD),通常称为散射测量。这种类型的反馈可用于在芯部已被去除之后测量第一间隔件特征的宽度(例如,图4C或6F中的从左到右的宽度)。在多种实施方案中,用于去除芯部和沉积第二间隔件层的室可以包括用于执行OCD的散射测量硬件。以这种方式,可以在沉积室中原位测量

第一间隔件特征的宽度,而无需将衬底转移到另一室进行计量。例如,如关于图2D所描述的,这样的衬底转移可能会不合需要地导致第一间隔件特征倾倒。取而代之的是,可以去除芯部,可以测量第一间隔件特征的宽度,然后可以完全沉积第二间隔件层,而不用使衬底松脱或以其他方式干扰衬底。由散射测量硬件测量的(一或多个)宽度可以用作控制上游工艺的反馈,例如第一间隔件层的沉积。如果散射测量表明第一间隔件特征比期望的窄,则用于形成第一间隔件特征的工艺可以增加持续时间以便在未来处理的衬底上形成更厚的第一间隔件层。同样,如果散射测量表明第一间隔件特征比期望的宽,则用于形成第一间隔件特征的工艺可以缩短持续时间以便在未来处理的衬底上形成更薄的第一间隔件层。作为持续时间的变化的替代或补充,如果需要,还可以基于散射测量结果修改第一间隔件层的沉积以使用不同的等离子体条件。这些变化可以基于自动工艺控制进行,或者所述变化可以手动进行。

[0084] 为了获得本文所述的反馈,可以修改用于沉积第二间隔件层的沉积室以包括相关的反馈硬件。例如,可以修改沉积室以包括光发射光谱测量硬件、激光干涉测量硬件和/或光学CD计量/散射测量硬件。用于沉积第二间隔件层的常规沉积室不包括这种反馈硬件。通常,第二间隔件层通过原子层沉积(其可以通过等离子体能量和/或热能驱动)来沉积,其沉积非常缓慢且可预测。由于原子层沉积反应的可预测性和可控性,因此无需主动监控沉积工艺。相反,可以仅基于沉积速率和所需的膜厚度可靠地预测沉积反应的终点。因此,用于沉积第二间隔件层的常规室不包括用于终点检测的硬件。这同样适用于具有可预测沉积速率的其他类型的沉积室(例如,化学气相沉积室等)。类似地,用于沉积第二间隔件层的常规室不包括散射测量硬件。这样的硬件可以在工艺流程的早期用于其他工具。然而,以前没有令人信服的理由将这种硬件包括在用于沉积第二间隔件层的沉积室中。

### 装置

[0085] 图7示意性地示出了根据各种实施方案的可用于处理衬底的处理站700的实施方案。例如,处理站700可用于执行本文所述的许多操作,包括(例如,在操作311、511和1313中)去除芯部,(例如,在操作511和1311中)移除额外的平坦化层,(例如,在操作313、513和1315中)沉积第二间隔件层,并执行与这些工艺相关的任何计量和反馈技术。上述益处可以通过使用图3、5和/或13中描述的工艺流程在相同的处理站700中执行这些操作来实现。例如,在同一站中去除芯部(和额外的平坦化层,如果存在的话)并沉积第二间隔件层消除了第一间隔件特征处于机械受损状态时转移衬底的需要。在多种实施方案中,在第一间隔件特征未被横向支撑时不转移衬底,如图2C、4C、6F和12F中所示。换言之,在第一间隔件层被回蚀后,如图2B、4B、6A和12B所示,仅当第一间隔件层(或第一间隔件特征)的剩余部分例如由芯部的材料或第二间隔件层的材料横向支撑时才转移衬底。

[0086] 在一些实施方案中,本文所述的某些附加操作可发生在处理站700中(例如,在用于去除芯部和沉积第二间隔件层的同一处理站700中)。例如,在一些实施方案中,处理站700也可以用于沉积第一间隔件层。在这些或其他实施方案中,处理站700可用于在沉积第一间隔件层之前横向修整芯部。这种修整确保了整个衬底表面(以及不同衬底之间)的芯部关键尺寸的均匀性。在这些或其他实施方案中,处理站700可用于在沉积之前等离子体处理(例如,用He和/或Ar等离子体)衬底,从而活化衬底表面以改善膜(例如,第一或第二间隔件层或本文所述的其他层)的保形性和粘附性。

[0087] 为简单起见,处理站700被描绘为具有用于维持低压环境的处理室主体702的独立处理站。然而,应当理解,多个处理站700可以包括在共同的处理工具环境中。此外,应当理解,在一些实施方案中,可以由一个或多个计算机控制器以编程方式调整处理站700的一个或多个硬件参数,包括下面详细讨论的那些硬件参数。

[0088] 处理站700与反应物输送系统701流体连通,以将工艺气体输送至分配喷头706。反应物输送系统701包含混合容器704,混合容器704用于共混和/或调节工艺气体以输送至喷头706。一个或多个混合容器入口阀720可以对工艺气体导入至混合容器704进行控制。类似地,喷头入口阀705可对工艺气体导入至喷头706进行控制。

[0089] 一些反应物,如BTBAS,可以在蒸发之前以液体形式储存,然后再输送到处理站。例如,图7的实施方案包含汽化点703,汽化点703用于汽化将供应至混合容器704的液体反应物。在一些实施方案中,汽化点703可以是加热的蒸发器。从这样的蒸发器产生的反应物蒸气会在下游输送管道凝结。不兼容气体暴露于凝结的反应物会产生小颗粒。这些小颗粒可能阻塞管道、阻碍阀操作、污染衬底等。处理这些问题的一些方法涉及清扫和/或抽空输送管道以去除残留反应物。然而,清扫输送管道会增加处理站循环时间,降低处理站吞吐量。因此,在一些实施方案中,汽化点703下游的输送管道可以被热追踪。在一些示例中,混合容器704也可以被热追踪。在一个非限制性示例中,汽化点703下游的管道具有从约100°C升高至在混合容器704处的约150°C的升高的温度分布。

[0090] 在一些实施方案中,反应物液体可以在液体喷射器处汽化。例如,液体喷射器可以将液体反应物的脉冲喷射到混合容器上游的载气流中。在一种情况中,液体喷射器可以通过将液体从较高压闪变到较低压来汽化反应物。在另一情况中,液体喷射器可以将液体雾化为接下来在加热的输送管中汽化的分散的微滴。应当理解,较小的液滴可比较大的液滴更快汽化,从而减小了在液体注入和完成汽化之间的延迟。较快的汽化可以减小汽化点703下游的管道长度。在一种情况中,液体喷射器可以直接装载到混合容器704。在另一情况中,液体喷射器可以直接装载到喷头706。

[0091] 在一些实施方案中,可以在汽化点703上游设置液体流控制器来控制用于汽化并输送至处理站700的液体的质量流量。例如,液体流控制器(LFC)可以包含位于LFC下游的热质量流量计(MFM)。然后可以响应于由与MFM电通信的比例积分微分(PID)控制器提供的反馈控制信号来调节LFC的柱塞阀。然而,其可以采取一秒或更长时间来使用反馈控制以稳定液体流。这可以延长投配液体反应物的时间。因此,在一些实施方案中,LFC可以在反馈控制模式和直接控制模式之间动态切换。在一些实施方案中,LFC可以通过禁用LFC的感测管道和PID控制器来从反馈控制模式动态切换到直接控制模式。

[0092] 喷头706朝衬底712分配工艺气体。在图7所示的实施方案中,衬底712位于喷头706下方,并且示出为安置在基座708上。应当理解,喷头706可以具有任何适当的形状,并可以具有任何适当数量和布置的端口,以将工艺气体分配至衬底712。

[0093] 在一些实施方案中,微体积707位于喷头706下方。在微体积中而不是在处理站的整个体积中执行工艺可以减少反应物暴露和清扫时间,可以减少改变工艺条件(例如,压强、温度等)的时间,可以限制处理站机械手对工艺气体的暴露等。示例性的微体积大小包括但不限于0.1升和2升之间的体积。这种微体积也会对产量造成影响。例如,当这种微体积用于原子层沉积工艺时,每个循环的沉积速率低于较大体积的沉积速率,但同时也减少了

循环时间。在某些情况下,对于给定的目标膜厚度,循环时间减少的效果足够显著以提高模块的总体产量。

[0094] 在一些实施方案中,可以升高或降低基座708以使衬底712暴露于微体积707和/或改变微体积707的体积。例如,在衬底传送阶段中,可以降低基座708以使得衬底712能被加载在基座708上。在衬底处理阶段(例如,在衬底上沉积材料、蚀刻在衬底上的材料或处理在衬底上的材料等),可以升高基座708以将衬底712定位在微体积707内。在一些实施方案中,微体积707可以完全包围衬底712以及基座708的一部分以在处理衬底的同时形成高流阻抗的区域。

[0095] 任选地,基座708可以在衬底被处理时降低和/或升高以调节微体积707内的工艺压力、反应物浓度等。在一种使处理室主体702在处理衬底的同时保持在基础压强下的情况下,降低基座708可以使得微体积707能被抽空。微体积与处理室体积的示例性比率包括但不限于1:700和1:10之间的体积比。应当理解,在一些实施方案中,可以通过合适的计算机控制器以编程方式调整基座高度。

[0096] 在另一情形中,调整基座708的高度可以使得在工艺中包含的等离子体启动和/或处理循环期间改变等离子体密度。在衬底处理阶段结束时,基座708可以在另一衬底转移阶段期间降低,以使得能从基座708移除衬底712。

[0097] 尽管这里描述的示例性微体积变化涉及高度可调节的基座,但是应当理解,在一些实施方案中,喷头706的位置可以相对于基座708调节以改变微体积707的体积。此外,应当理解的是,基座708和/或喷头706的竖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。在一些实施方案中,基座708可包括用于使衬底712的方位旋转的旋转轴线。应该理解的是,在一些实施方案中,这些示例性调节中的一种或多种可以通过一个或多个适当的计算机控制器以编程方式执行。

[0098] 回到图7所示的实施方案,喷头706和基座708与RF功率源714和匹配网络716电通信以用于对等离子体供电。在一些实施方案中,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,RF功率源714和匹配网络716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被包含在上文中。类似地,RF功率源714可以提供任何适当频率的RF功率。在一些实施方案中,RF功率源714可以被配置为控制彼此独立的高频RF功率源和低频RF功率源。示例性的低频RF频率可包括但不限于,介于50kHz和700kHz之间的频率。示例性的高频RF频率可包括但不限于,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节以提供用于表面反应的等离子体能量。在一个非限制性示例中,相对于被连续供电的等离子体,可对等离子体功率间歇地施以脉冲,以减少对衬底表面的离子轰击。

[0099] 在一些实施方案中,等离子体可由一个或多个等离子体监控器原位监控。在一种情况中,等离子体功率可通过一个或多个电压、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光谱传感器(OES)来测量。在一些实施方案中,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节。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控制。如上所述,OES硬件可用于确定用于去除芯部的反应的终点。

替代地或附加地,激光干涉测量硬件可用于确定该反应的终点。在这些或其他实施方案中,OCD/散射测量硬件可用于测量存在于衬底表面上的第一间隔件特征和/或其他特征的宽度。应理解的是,在一些实施方案中,可使用其它监控器来监控等离子体、衬底和其它工艺特性。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。

[0100] 在一些实施方案中,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,用于设置等离子体工艺阶段的等离子体条件的指令可被包含在工艺配方的相应的等离子体激活配方阶段中。在一些情况下,工艺配方阶段可按顺序排列,使得用于特定工艺阶段的所有指令与该工艺阶段同时执行。在一些实施方案中,用于设置一个或多个等离子体参数的指令可以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定惰性气体和/或反应物气体的流速的指令,用于将等离子体发生器设定到功率设定点的指令,以及用于第一配方阶段的时间延迟指令。后续的第二配方阶段可以包括用于启用等离子体发生器的指令和用于第二配方阶段的时间延迟指令。第三配方阶段可以包括用于禁用等离子体发生器的指令和用于第三配方阶段的时间延迟指令。应当理解,可以在本公开的范围内以任何合适的方式进一步细分和/或迭代这些配方阶段。

[0101] 在一些沉积工艺中,等离子体激励持续大约几秒或更长的持续时间。在某些实施方案中,可以使用远远更短的等离子体激励。这些可以是约10毫秒到1秒,典型地,约20到80毫秒,其中50毫秒是一个具体示例。这种非常短的射频等离子体激励需要非常快速地稳定等离子体。为了实现这一点,等离子体发生器可以被配置为使得阻抗匹配被预设为特定电压,同时允许频率浮动。传统上,高频等离子体以约13.56MHz的RF频率产生。在本文公开的各种实施方案中,允许频率浮动到与该标准值不同的值。通过在将阻抗匹配固定到预定电压时允许频率浮动,等离子体可以远远更快地稳定,当使用与某些类型的沉积循环相关的非常短的等离子体激励时,这一结果可能很重要。

[0102] 在一些实施方案中,基座708可以通过加热器710进行温度控制。此外,在一些实施方案中,沉积处理站700的压力控制可以由蝶形阀718提供。如图7的实施方案所示,蝶形阀718节流由下游真空泵(未示出)提供的真空。然而,在一些实施方案中,还可以通过改变引入处理站700的一种或多种气体的流速来调节处理站700的压力控制。

[0103] 图8示出了根据某些实施方案的多站处理工具800的实施方案的示意图。多站处理工具800可用于执行本文所述的操作中的许多,包括(例如,在操作311、511和1313中)去除芯部,(例如,在操作511和1311中)移除额外的平坦化层,(例如,在操作313、513和1315中)沉积第二间隔件层,并执行与这些工艺相关的任何计量和反馈技术。上述益处可以通过使用图3、5和/或13中描述的工艺流程在相同的多站处理工具800中执行这些操作来实现。例如,当第一间隔件特征处于机械受损状态时,在同一多站处理工具中去除芯部(和额外的平坦化层,如果存在)并沉积第二间隔件层消除了的工具之间转移衬底的需要。在各种情况下,这些操作在多站处理工具800的同一站中执行,如上面关于图7所描述的。

[0104] 在一些实施方案中,本文所述的某些附加操作可发生在多站工具800中(例如,在用于去除芯部和沉积第二间隔件层的同一多站处理工具800中,例如在多站工具800中的同一站中)。例如,在一些实施方案中,多站处理工具800也可以用于沉积第一间隔件层。

[0105] 多站处理工具800包括入站装载锁802和出站装载锁804,其一者或者两者可以包含远程等离子体源。在大气压下,机械手806被配置为将晶片从通过晶舟808装载的盒经由

大气端口810移动至入站装载锁802内。晶片由机械手806放置在入站装载锁802中的基座812上,关闭大气端口810,且抽空装载锁。当入站装载锁802包含远程等离子体源时,晶片在被引入处理室814之前,可以暴露于装载锁中的远程等离子体处理。此外,晶片另外也可以在入站装载锁802中加热,例如以移除湿气和吸附的气体。接下来,通向处理室814的室传输端口816被打开,且另一个机械手(未示出)将晶片放置到反应器中在所述反应器中所示的第一站的基座上以用于处理。尽管图8所示的实施方案包括装载锁,但是应当理解,在一些实施方案中,可以使晶片直接进入处理站。

[0106] 绘出的处理室814包含4个处理站,图8所示的实施方案中编号为1至4。每个站具有加热的基座(对于站1示出为818)和气体管线入口。应该理解的是,在一些实施方案中,每个处理站可以具有不同或者多个用途。虽然绘出的处理室814包含4个站,但应理解,根据本公开所述的处理室可以具有任何适当数量的站。例如,在一些实施方案中,处理室可以具有5个或更多个站,而在其它实施方案中,处理室可以具有3个或者更少的站。

[0107] 图8还绘出了用于在处理室814内传输晶片的晶片搬运系统890的实施方案。在一些实施方案中,晶片搬运系统890可以在各种处理站之间和/或处理站与装载锁之间传输晶片。应该理解的是,可以采用任何适当的晶片搬运系统。非限制性示例包含晶片转盘和搬运晶片的机械手。图8还绘出了用于控制处理工具800的工艺条件和硬件状态的系统控制器850的实施方案。系统控制器850可以包含一个或多个存储器设备856、一个或多个海量存储设备854和一个或多个处理器852。处理器852可以包含CPU或者计算机、模拟和/或数字输入/输出连接、步进马达控制器板等。

[0108] 在一些实施方案中,系统控制器850控制处理工具800的所有活动。系统控制器850执行存储在海量存储设备854、载入存储器设备856、并在处理器852上执行的系统控制软件858。系统控制软件858可以包含用于控制时序、气体的混合、室和/或站压强、室和/或站温度、吹扫条件和时序、晶片温度、RF功率等级、RF频率、衬底、基座、卡盘和/或基座位置、以及由处理工具800执行的特定工艺的其它参数的指令。系统控制软件858可以以任何适当的方式配置。例如,各种处理工具组件子程序或者控制对象可以写入以控制根据所公开的方法执行各种处理工具工艺所必需的处理工具部件的操作。系统控制软件858可以以任何适当的计算机可读编程语言来编码。

[0109] 在一些实施方案中,系统控制软件858可以包含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,等离子体增强原子层沉积(PEALD)工艺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PEALD工艺阶段的工艺条件的指令可以包括在相应的PEALD配方阶段中。在一些实施方案中,可以顺序地布置PEALD配方阶段,使得PEALD工艺阶段的所有指令与该工艺阶段同时执行。类似的配方阶段也可用于其他类型的处理。

[0110] 在一些实施方案中可以采用存储在与系统控制器850关联的海量存储设备854和/或存储器设备856上的其它计算机软件和/或程序。用于该目的的程序或者程序段的示例包含衬底定位程序、工艺气体控制程序、压力控制程序、加热器控制程序、以及等离子体控制程序。

[0111] 衬底定位程序可以包含用于处理工具组件的程序代码,该处理工具组件用于将衬底装载到基座818,并控制衬底和处理工具800的其它部分之间的间隔。

[0112] 工艺气体控制程序可以包括用于控制气体组分和流速以及可选地用于在沉积或者其他处理之前使气体流入一个或多个处理站以便稳定处理站中的压强的代码。工艺气体控制程序可包括用于控制任何公开范围内的气体组成和流速的代码。压力控制程序可以包含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代码。压力控制程序可以包括用于将处理站中的压强保持在任何所公开的压强范围内的代码。

[0113] 加热器控制程序可以包括用于控制流到加热单元的电流的代码,该加热单元用于加热衬底。替代地,加热器控制程序可以控制传热气体(例如氦气)向衬底的传送。加热器控制程序可以包括将衬底的温度保持在任何公开范围内的指令。

[0114] 等离子体控制程序可以包括用于设置施加到一个或多个处理站中的处理电极的RF功率等级和频率的代码,例如使用本文公开的任何RF功率等级。等离子体控制程序还可以包括用于控制每次等离子体暴露的持续时间的代码。

[0115] 在一些实施方案中,可以存在与系统控制器850相关联的用户界面。用户界面可以包含显示屏、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。

[0116] 在一些实施方案中,由系统控制器850调节的参数会涉及工艺条件。非限制性示例包含工艺气体组成和流率、温度、压强、等离子体条件(例如,RF功率等级、频率和暴露时间)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。

[0117] 用于监控工艺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。用于控制工艺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示例包含质量流量控制器、压力传感器(例如压力计)、热电偶、光发射传感器(例如,用于执行OES)、激光干涉测量传感器(例如,用于执行LSR)、光学CD计量/散射测量传感器(例如,用于执行散射测量)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,以保持工艺条件和控制各种工艺。

[0118] 可以使用任何合适的室来实施所公开的实施方案。示例性沉积设备包括但不限于来自**STRIKER**<sup>®</sup>产品系列、**ALTUS**<sup>®</sup>产品系列、**VECTOR**<sup>®</sup>产品系列和/或**SPEED**<sup>®</sup>产品系列的装置(其中每一种产品系列都可从加利福尼亚州弗里蒙特的Lam Research Corp.获得),或者各种其他可商购获得的处理系统中的任一种。两个或更多个站可以执行相同的功能。类似地,两个或更多个站可以执行不同的功能。可以根据需要设计/配置每个站以执行特定的功能/方法或功能/方法的组合。在此描述为发生在同一室中的任何操作可在多站工具的同一站中执行,从而无需在不同站之间转移衬底以进行不同操作。

[0119] 图9是根据某些实施方案的适用于进行薄膜沉积工艺、蚀刻工艺、清洁工艺和其他工艺的处理系统的框图。系统900包括传送模块903。传送模块903提供清洁、加压的环境,以最小化当正被处理的衬底在各个反应器模块之间移动时被污染的风险。根据某些实施方案,安装在传送模块903上的是两个多站式反应器909和910,每个反应器能够执行原子层沉积(ALD)、化学气相沉积(CVD)、芯部去除和本文所述的其他工艺。反应器909和910可以包括多个站911、913、915和917,其可以根据所公开的实施方案顺序地或非顺序地执行操作。这些站911、913、915和917可包括加热的基座或衬底支撑件、一个或多个气体入口或喷头或分散板。如上所述,本文描述为发生在同一室中的任何操作可以在多站室的同一站中执行,从

而无需在不同站之间转移衬底以进行不同操作。

[0120] 安装在传送模块903上的还可以是一个或多个单站或多站式模块907,其能够执行等离子体或化学(非等离子体)清洁、蚀刻、沉积或者与所公开的方法有关的任何其他工艺。在一些情况下,模块907可以用于各种处理,以例如制备用于沉积工艺的衬底。模块907还可以被设计/配置为执行各种其他工艺,例如蚀刻或抛光。系统900还包括一个或多个晶片源模块901,其中在处理之前和之后存储晶片。大气传送室919中的大气机械手(未示出)可以首先将晶片从源模块901移动到装载锁921。传送模块903中的晶片传送装置(通常是机械臂单元)将晶片从装载锁921移动到安装在传送模块903上的模块中以及在安装在传送模块903上的模块中。

[0121] 在多种实施方案中,系统控制器929用于控制处理过程中的工艺条件。控制器929通常将包括一或多个存储器设备和一或多个处理器。处理器可包括CPU或计算器、模拟和/或数字输入/输出连接部、步进马达控制器板,等等。

[0122] 控制器929可控制装置的活动中的全部。系统控制器929执行系统控制软件,系统控制软件包括用于控制定时、气体的混合物、室压、室温、晶片温度、射频(RF)功率等级、晶片卡盘或基座位置以及特殊处理的其他参数的成组的指令。存储在与控制器929相关联的存储器设备或其他计算机程序可在一些实施方案中被采用。

[0123] 通常会有与控制器929相关联的用户界面。用户界面可包括显示屏、该装置和/或工艺条件的图形软件显示器以及诸如指点设备、键盘、触摸屏、话筒等用户输入设备。

[0124] 系统控制逻辑可以用任何合适的方式来配置。一般而言,该逻辑可被设计或配置在硬件和/或软件中。用于控制驱动电路的指令可被硬编码或作为软件被提供。指令可通过“编程”提供。这种编程被理解为包括任何形式的逻辑,包括数字信号处理器、专用集成电路以及具有实现为硬件的具体算法的其他器件中的硬编码逻辑。编程还被理解为包括可在通用处理器上执行的软件或固件指令。系统控制软件可以任何合适的计算机可读编程语言进行编码。

[0125] 用于控制含锆还原剂脉冲、氢气流和含钨前体脉冲以及工艺序列中的其他工艺的计算机程序代码可以任何常用计算机可读编程语言:例如,汇编语言、C、C++、Pascal、Fortran或其他编写。编译的目标代码或脚本由处理器执行以完成程序中所识别的任务。同样如所指示的,程序代码可以是硬编码的。

[0126] 控制器参数与工艺条件有关,诸如,例如工艺气体组分和流率、温度、压强、冷却气压、衬底温度以及室壁温度。这些参数以配方的形式被提供给用户,且可利用用户界面输入。用于监控工艺的信号可通过系统控制器929的模拟和/或数字输入连接被提供。用于控制工艺的信号通过沉积装置900的模拟和数字输出连接被输出。

[0127] 可以以许多不同方式设计或配置系统软件。例如,根据所公开的实施方案,可以编写各种室部件子程序或控制对象以控制执行沉积工艺(以及在一些情况下的其他工艺)所必需的室部件的操作。用于该目的的程序或程序段的示例包括衬底定位代码、工艺气体控制代码、压力控制代码和加热器控制代码。

[0128] 在一些实现方案中,控制器929是系统的一部分,该系统可以是上述示例的一部分。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处理工具、一个或多个室、用于处理的一个或多个平台、和/或特定处理部件(晶片基座、气体流系统等)。这

些系统可以与用于在半导体晶片或衬底的处理之前、期间和之后控制它们的操作的电子器件集成。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部件或子部件。根据处理要求和/或系统类型，控制器929可以被编程以控制本文公开的任何工艺，包括工艺气体的输送、温度设置（例如加热和/或冷却）、压力设置、真空设置、功率设置、在一些系统中的射频（RF）产生器设置、RF匹配电路设置、频率设置、流率设置、流体输送设置、位置和操作设置、晶片转移进出工具和其他转移工具和/或与具体系统连接或通过接口连接的装载锁。

[0129] 概括地说，控制器可以定义为电子器件，电子器件具有接收指令、发出指令、控制操作、启用清洁操作、启用端点测量等的各种集成电路、逻辑、存储器和/或软件。集成电路可以包括存储程序指令的固件形式的芯片、数字信号处理器（DSP）、定义为专用集成电路（ASIC）的芯片、和/或一个或多个微处理器、或执行程序指令（例如，软件）的微控制器。程序指令可以是以各种单独设置（或程序文件）的形式发送到控制器的指令，单独设置（或程序文件）定义用于在半导体晶片或系统上或针对半导体晶片或系统执行特定工艺的操作参数。在一些实施方案中，操作参数可以由工艺工程师定义的配方的一部分，以在一或多个（种）层、材料、金属、氧化物、硅、二氧化硅、表面、电路和/或晶片的管芯的制造期间完成一个或多个处理步骤。

[0130] 在一些实现方案中，控制器可以是与系统集成、耦合到系统、以其它方式联网到系统或其组合的计算机的一部分或耦合到该计算机。例如，控制器可以在“云”中或是晶片厂（fab）主机系统的全部或部分，其可以允许对晶片处理的远程访问。计算机可以实现对系统的远程访问以监视制造操作的当前进展、检查过去制造操作的历史、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、或者开始新的处理。在一些示例中，远程计算机（例如服务器）可以通过网络（其可以包括本地网络或因特网）向系统提供工艺配方。远程计算机可以包括使得能够输入或编程参数和/或设置的用户界面，然后将该参数和/或设置从远程计算机发送到系统。在一些示例中，控制器接收数据形式的指令，其指定在一个或多个操作期间要执行的每个处理步骤的参数。应当理解，参数可以特定于要执行的工艺的类型和工具的类型，控制器被配置为与该工具接口或控制该工具。因此，如上所述，控制器可以是例如通过包括联网在一起并朝着共同目的（例如本文所述的工艺和控制）工作的一个或多个分立的控制器而呈分布式。用于这种目的的分布式控制器的示例是在与远程（例如在平台级或作为远程计算机的一部分）的一个或多个集成电路通信的室上的一个或多个集成电路，其组合以控制在室上的工艺。

[0131] 示例系统可以包括但不限于等离子体蚀刻室或模块、沉积室或模块、旋转漂洗室或模块、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、以及可以与半导体晶片的制造和/或制备相关联或用于半导体晶片的制造和/或制备的任何其它半导体处理系统。在本文的各种实施方案中，一个模块可以被配置为执行与图3、5和/或13中的工艺流程相关联的各种工艺，如上文进一步描述的，使得在衬底具有易塌陷的结构时无需转移衬底。

[0132] 如上所述，根据将由工具执行的一个或多个处理步骤，控制器可以与一个或多个其他工具电路或模块、其它工具部件、群集工具、其他工具接口、相邻工具、邻近工具、位于

整个工厂中的工具、主计算机、另一控制器、或在将晶片容器往返半导体制造工厂中的工具位置和/或装载口运输的材料运输中使用的工具通信。

### 实验

[0133] 实验结果表明,所公开的方法可以用于最小化缺陷,例如与在沉积第二间隔件层之前第一间隔件特征倾倒在有关的缺陷。图10A-C和11A-C示出了这些结果中的一些。图10A-C和11A-C是表征由实际实验产生的SEM的图。

[0134] 图10A示出了根据图1的方法制造的第一间隔件特征。具体来说,图10A示出了图1的操作109之后的第一间隔件特征(例如,在衬底上执行湿式清洁以去除在第一间隔件层的回蚀期间产生的不需要的材料之后)。如图10A所示,第一间隔件特征不是竖直的。相反,成对的相邻的第一间隔件特征朝向彼此向内倾斜。这种倾斜是不可取的。

[0135] 图10B和10C示出了图10A所示衬底的俯视图。图10B示出了图1的操作103之后(例如,在第一间隔件层被回蚀之后并且在芯部被移除之前)的衬底,而图10C示出了在操作109之后(例如,在芯部被去除并且衬底被清洁之后)的衬底。图10C中圈出的部分示出了第一间隔件特征(显示为白线)显示出弯曲/倾斜的区域。基于相邻的第一间隔件特征组之间的深灰色线的不均匀厚度,弯曲/倾斜是可见的。这些结果清楚地说明了本文所述的倾倒在问题。

[0136] 相比之下,图11A示出了根据图3的方法制造的覆盖有第二间隔件层的第一间隔件特征。具体来说,图11A示出了图3的操作313之后(例如,在沉积第二间隔件层之后)的第一间隔件特征/第二间隔件层。第一间隔件特征和第二间隔件层形成竖直的成对的相邻的线。成对的相邻的线不会向内朝向彼此倾斜,这表示相对于图10A的结果的显著改进。

[0137] 图11B和11C示出了图11A所示衬底的俯视图。图11B显示了在图3的操作303之后(例如,在第一间隔件层被回蚀之后)的衬底,而图11C示出了在操作313之后(例如,在沉积第二间隔件层之后)的衬底。与图10C中所示的线相比,图11C的那些线的厚度更加均匀,这表明线/特征是竖直的并且没有弯曲/倾倒在。

[0138] 在图10A-C和11A-C中显示的结果表明,当执行间隔件累加自对准四重图案化技术时,所公开的工艺流程可用于减少制造缺陷(例如,特别是与线弯曲/倾斜有关的那些)的数量。减少的缺陷导致工艺效率提高并且成本降低。

### 结论

[0139] 虽然已为了清楚理解的目的而对前述实施方案进行了一些详细的说明,但显而易见,可以在随附权利要求的范围内实施某些改变和修饰。应注意可以有許多实施本文实施方案的工艺、系统和装置的替代方式。因此,本文的实施方案应视为示例性且非限制性的,且实施方案不应限制在此处提出的细节。



图1

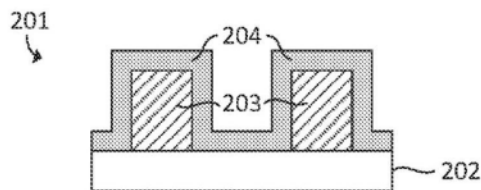


图2A

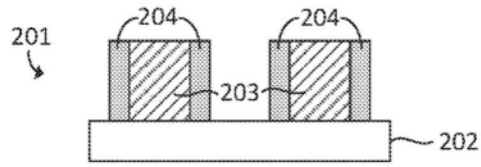


图2B

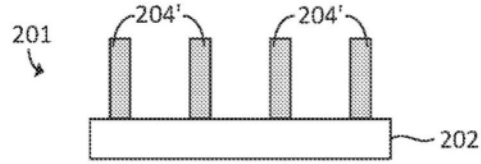


图2C

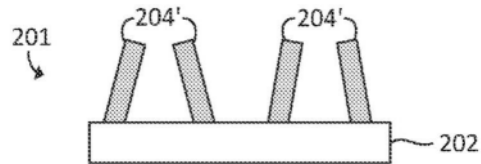


图2D

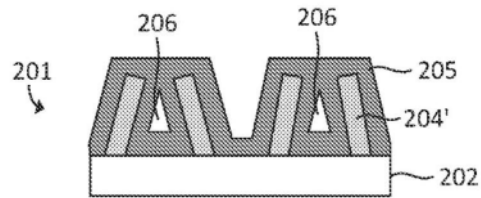


图2E



图3

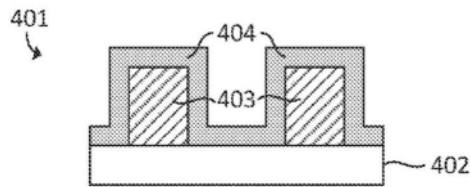


图4A

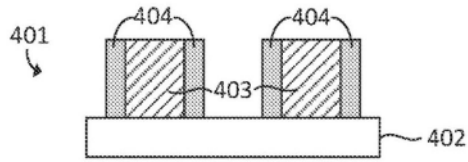


图4B

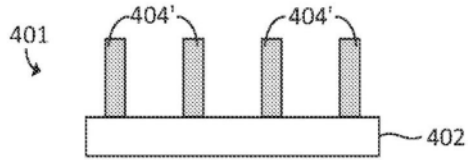


图4C

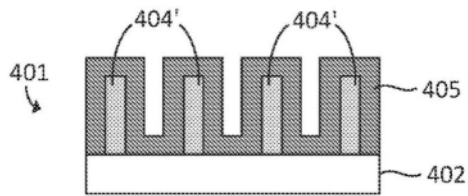


图4D

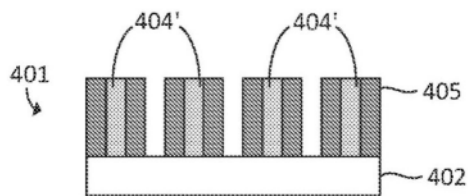


图4E

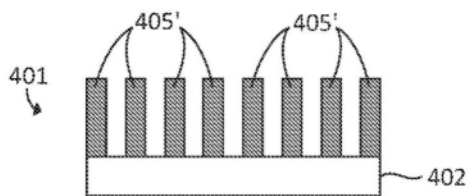


图4F



图5

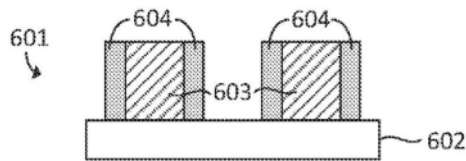


图6A

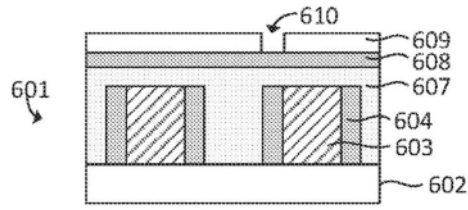


图6B

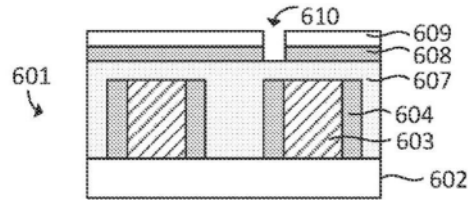


图6C

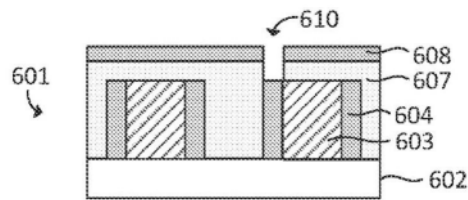


图6D

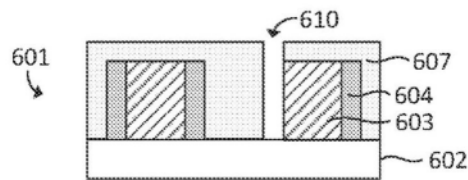


图6E

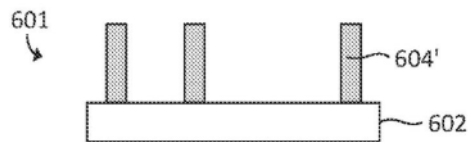


图6F

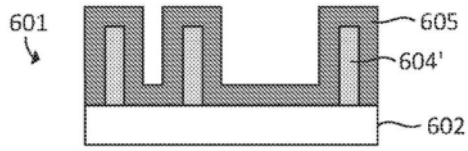


图6G

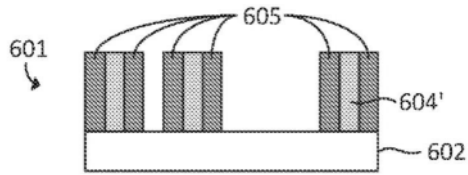


图6H

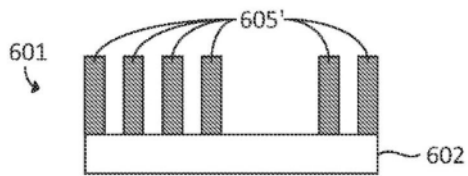


图6I

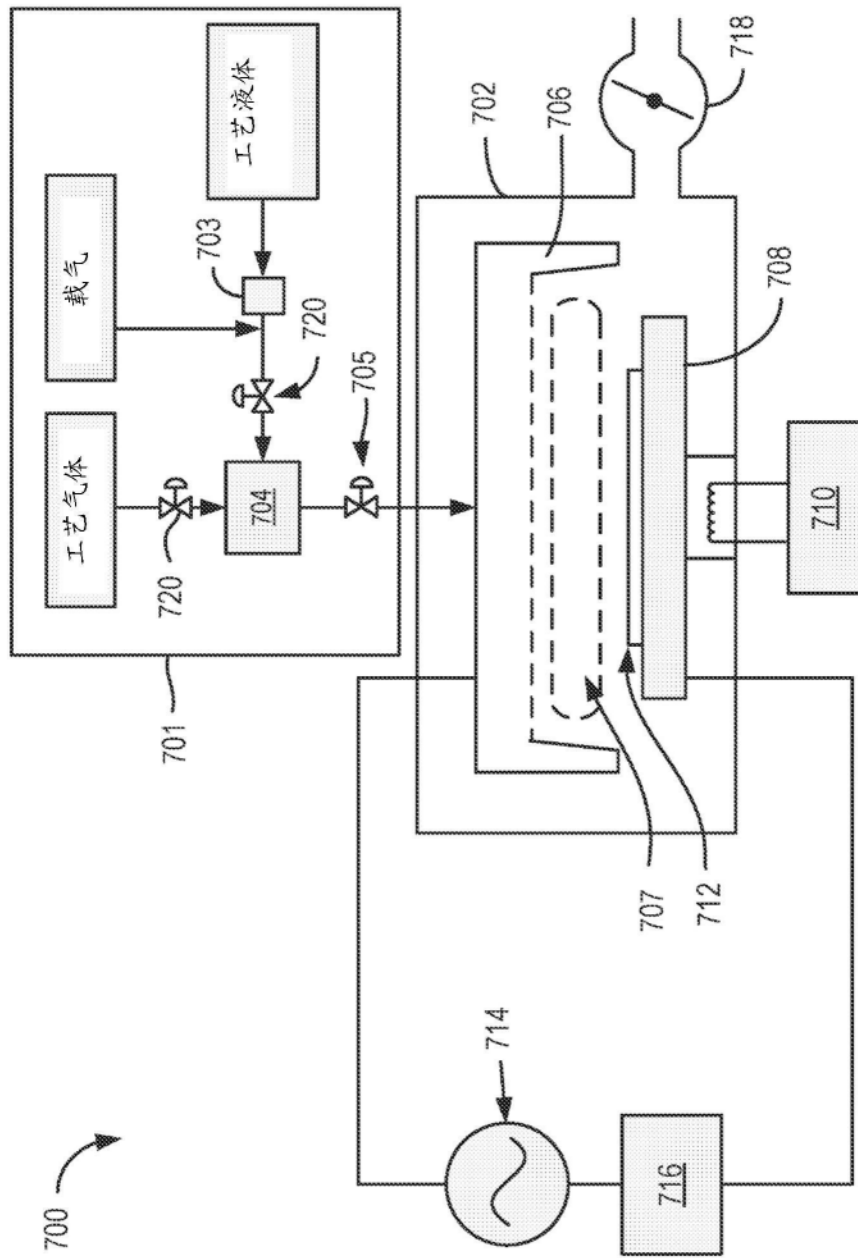


图7

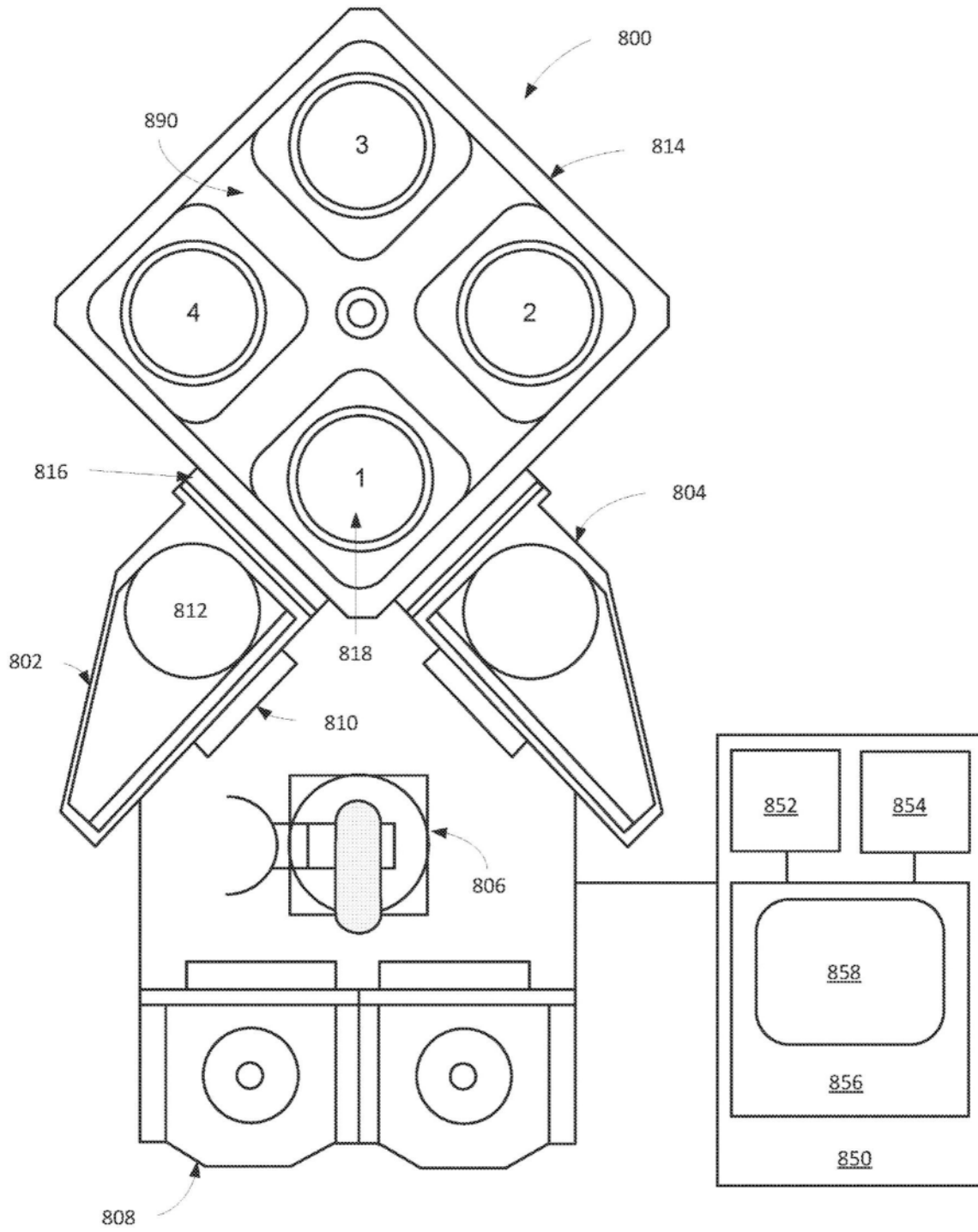


图8

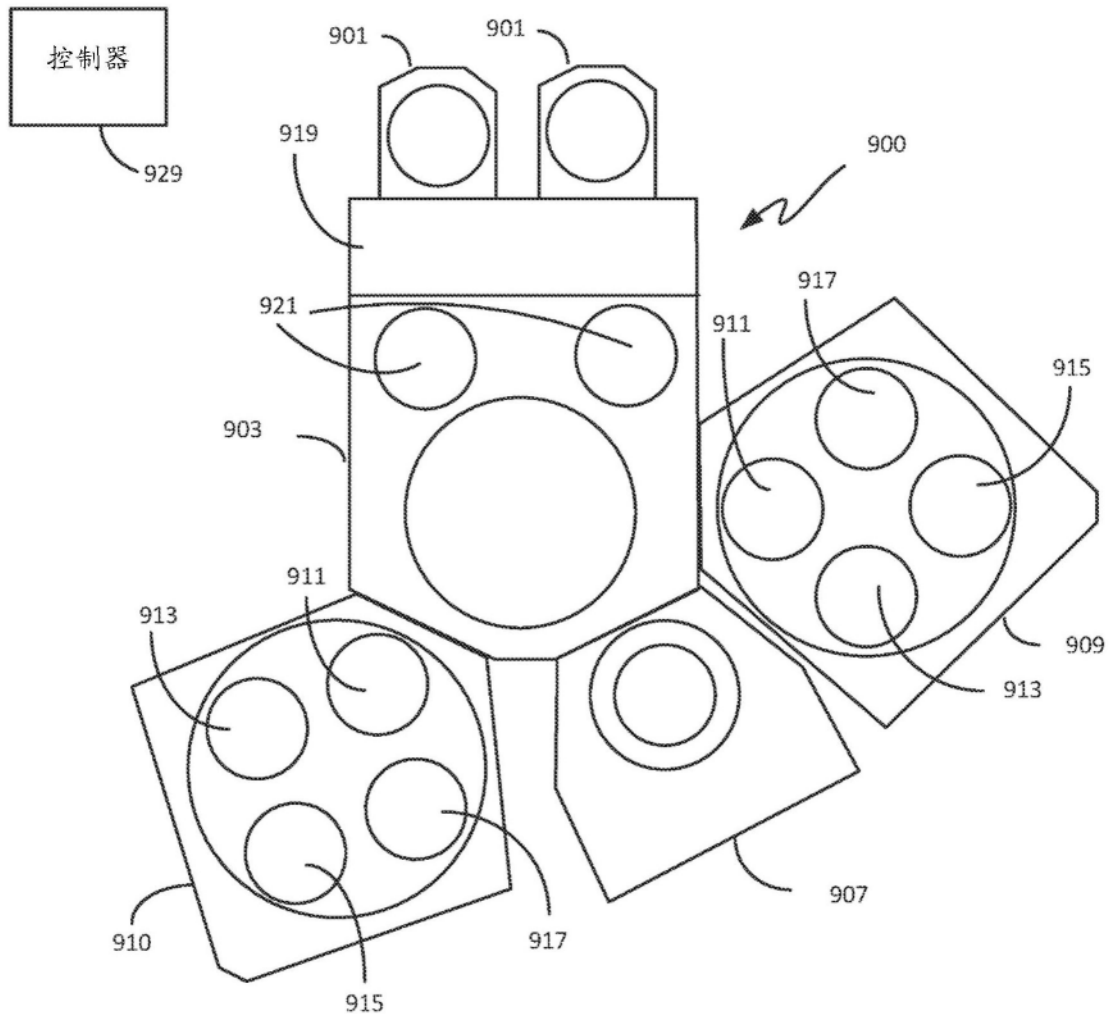


图9

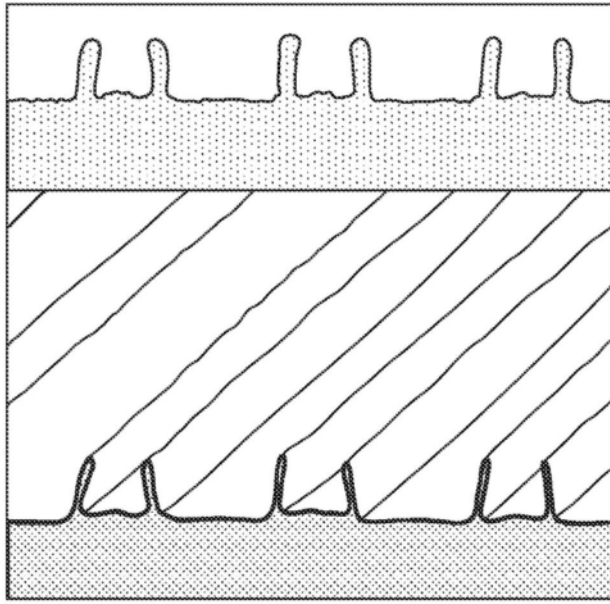


图10A

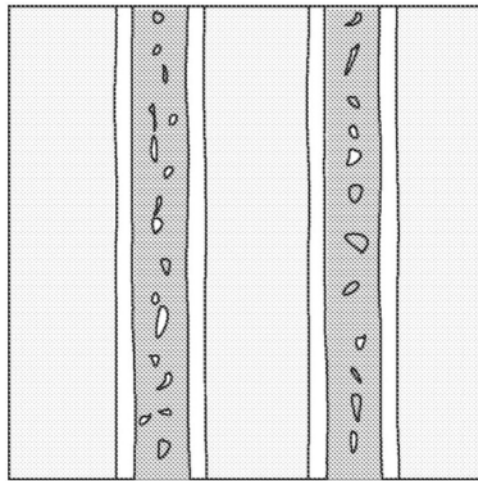


图10B

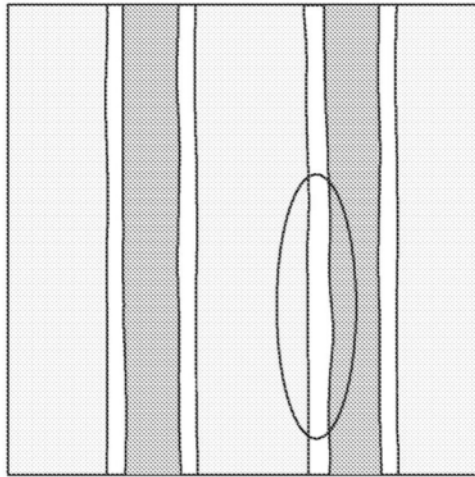


图10C

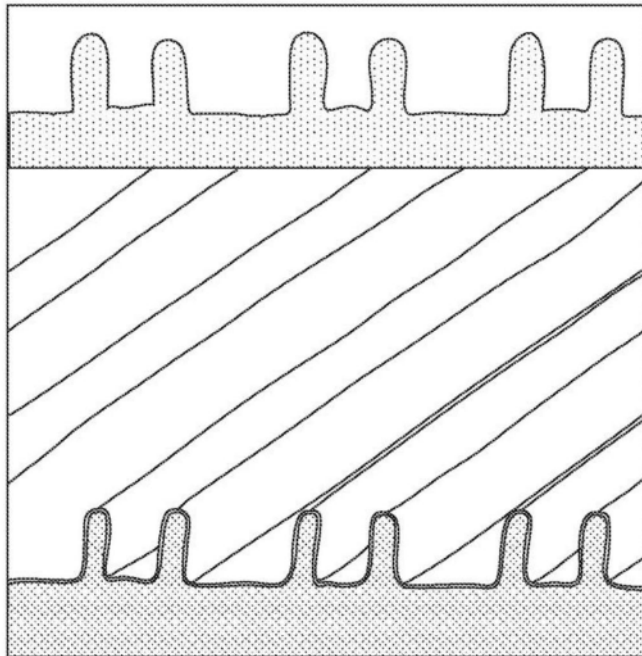


图11A

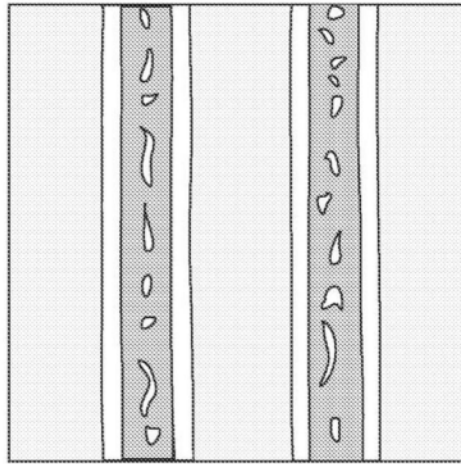


图11B

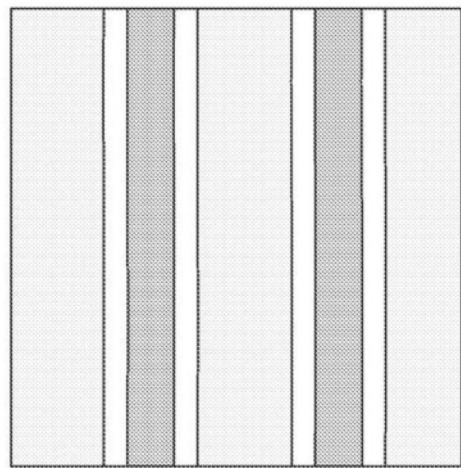


图11C

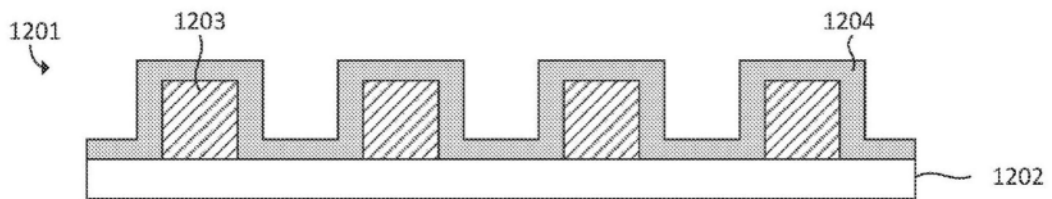


图12A

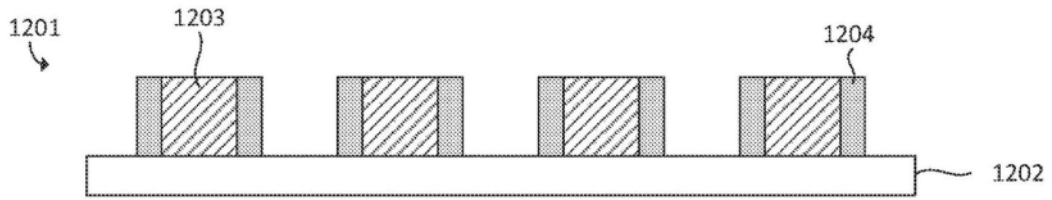


图12B

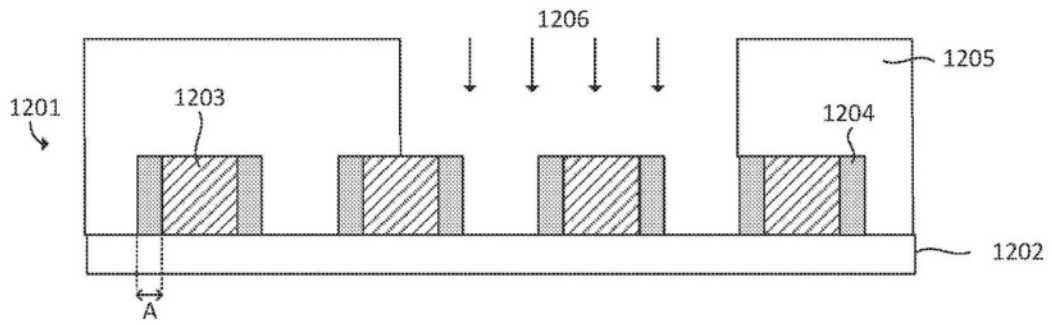


图12C

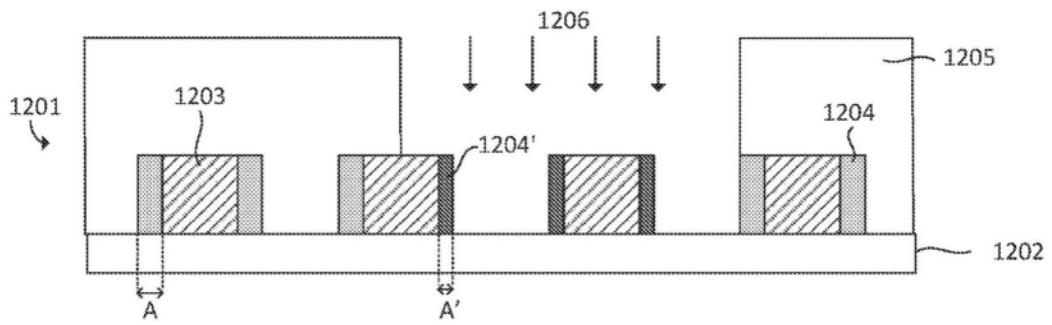


图12D

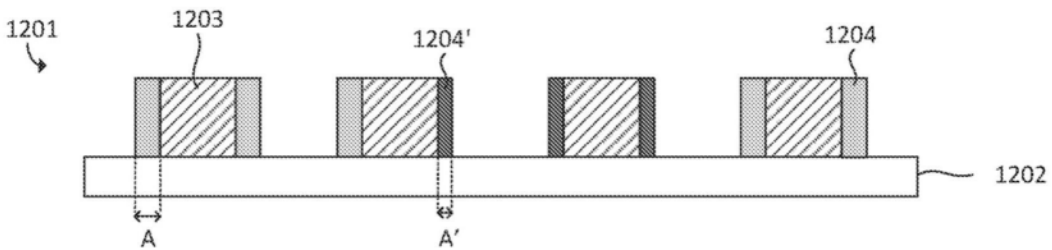


图12E

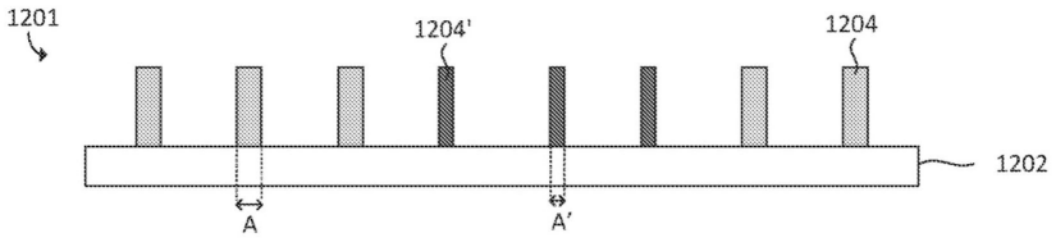


图12F

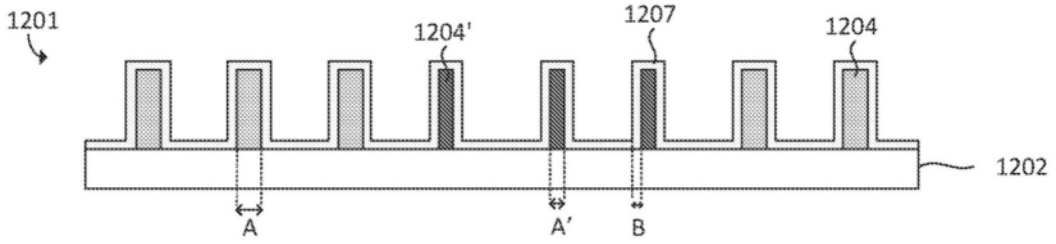


图12G

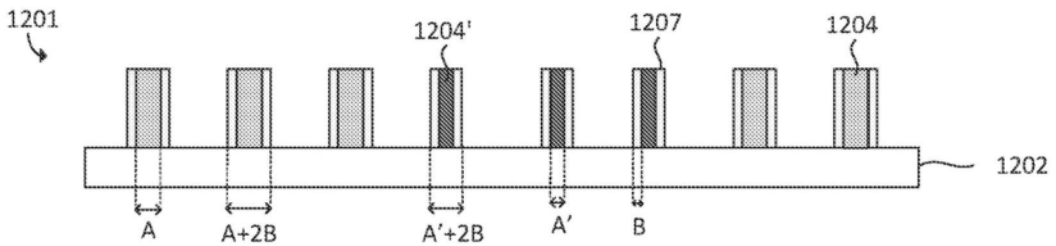


图12H

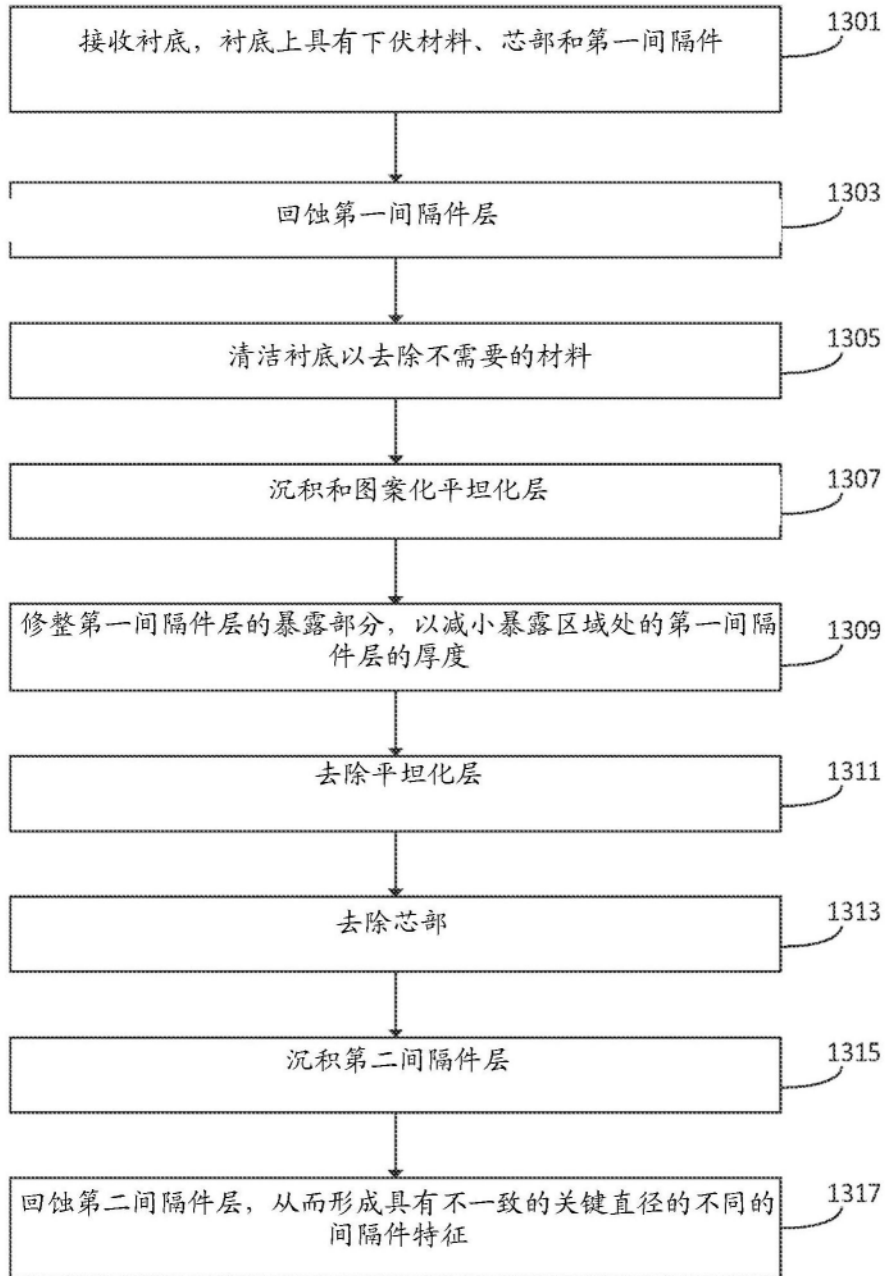


图13