



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117941493 A

(43) 申请公布日 2024. 04. 26

(21) 申请号 202280060606.7

萨沙撒耶·瓦拉达拉简

(22) 申请日 2022.09.04

(74) 专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

(30) 优先权数据

专利代理师 李献忠 罗婷婷

63/260,946 2021.09.07 US

(51) Int.Cl.

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

H10N 70/00 (2023.01)

2024.03.07

H10B 61/00 (2023.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

H10B 63/10 (2023.01)

PCT/US2022/042570 2022.09.04

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/038870 EN 2023.03.16

(71) 申请人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 约翰·霍昂 亚伦·林恩·罗赞

安德烈亚斯·菲舍尔 沈美华

索斯藤·贝恩德·莱尔

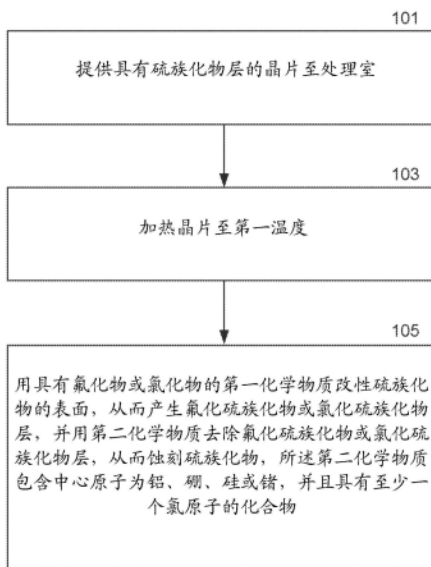
权利要求书4页 说明书35页 附图20页

(54) 发明名称

用于加工硫族化物的技术和装置

(57) 摘要

可以通过以下方式蚀刻硫族化物材料层:将具有硫族化物材料层的晶片提供给处理室,将晶片加热到第一温度,在晶片处于第一温度时通过使包含氟化物或氯化物的第一化学物质流动到晶片上来改性硫族化物材料层的表面以产生硫族化物材料的改性层,并且在不使用等离子体的情况下,通过使第二化学物质流动到晶片上来去除硫族化物材料的改性层,所述第二化学物质包括具有中心原子铝、硼、硅或锗且具有至少一个氯原子的化合物。



1. 一种方法,其包括:  
向处理室提供晶片,所述晶片具有硫族化物材料层;  
将所述晶片加热至第一温度;以及  
通过以下方式蚀刻所述硫族化物材料层:当所述晶片处于所述第一温度时,使包括氟化物或氯化物的第一化学物质流到所述晶片上来改性所述硫族化物材料层的表面以产生硫族化物材料的改性层,并且在不使用等离子体的情况下,使第二化学物质流到所述晶片上来去除所述硫族化物材料的改性层,所述第二化学物质包括具有中心原子铝、硼、硅或锗且具有至少一个氯原子的化合物。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述硫族化物材料包括相变材料。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述硫族化物材料包括锗锑碲。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一化学物质包括氟化氢、氟化氮、氟化硫、氟化氙、氯化氢、氯化硫或氯化氮。
5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述化合物还包含以下中的一种或多种:多个氯原子、氢、甲基或乙基。
6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述化合物包括二甲基氯化铝和三甲基铝之一。
7. 根据权利要求1-6中任一项所述的方法,其还包括在所述蚀刻之后将封装材料沉积到所述蚀刻的硫族化物材料层上。
8. 根据权利要求7所述的方法,其还包括在所述蚀刻之后且在所述沉积之前将所述晶片转移到第二处理室,其中所述沉积在所述第二处理室中执行。
9. 根据权利要求8所述的方法,其中在所述晶片保持在真空压强下的情况下执行所述转移。
10. 根据权利要求7所述的方法,其中所述封装材料包括铝。
11. 根据权利要求10所述的方法,其中:  
所述化合物的中心原子是铝,并且  
所述沉积包括使所述第二化学物质和水蒸气流到所述晶片上。
12. 根据权利要求11所述的方法,其中所述化合物是二甲基氯化铝或三甲基铝。
13. 根据权利要求10所述的方法,其中所述沉积是在与所述蚀刻相同的处理室中进行的。
14. 根据权利要求10所述的方法,其还包括:  
在所述蚀刻和所述沉积之后,将所述晶片转移到第二处理室,并且  
在所述转移之后,在所述封装材料上沉积第二封装材料,其中所述第二封装材料包括氧化硅或氮化硅。
15. 根据权利要求7所述的方法,其中:  
所述晶片还包括第二硫族化物材料层,并且  
所述方法还包括:  
在所述沉积之后,通过以下方式蚀刻所述第二硫族化物材料层:当晶片处于所述第一温度时,使包括氟化物或氯化物的第三化学物质流到所述晶片上来改性所述第二硫族化物材料层的表面以产生所述第二硫族化物材料的改性层,并且在不使用等离子体的情况下,使所述第四化学物质流到所述晶片上去除所述第二硫族化物材料的改性层,所述第四化学

物质包括具有中心原子铝、硼、硅或锗且具有至少一个氯原子的化合物。

16. 根据权利要求15所述的方法,其还包括在所述第二硫族化物材料层的所述蚀刻之后,将第二封装材料沉积到所述第二硫族化物材料层上。

17. 根据权利要求1-6中任一项所述的方法,其中:

所述晶片还包括多个硫族化物材料层,并且

通过以下方式同时蚀刻所述多个硫族化物材料层:当所述晶片处于所述第一温度时,使所述第一化学物质流到所述晶片上来改性所述多个硫族化物材料层的表面以产生改性的硫族化物材料层,以及在不使用等离子体的情况下,使所述第二化学物质流到所述晶片上来去除所述硫族化物材料的改性层。

18. 根据权利要求1-6中任一项所述的方法,其中:

所述改性包括使包含所述第一化学物质的第一处理气体流动,并且

所述去除包括使包含所述第二化学物质的第二处理气体流动。

19. 根据权利要求18所述的方法,其中使所述第一处理气体流到所述晶片上与使所述第二处理气体流到所述晶片上至少部分地重叠。

20. 根据权利要求18所述的方法,其中使所述第一处理气体流动与使所述第二处理气体流到所述晶片上不重叠。

21. 根据权利要求20所述的方法,其中所述蚀刻还包括:

停止所述第一处理气体的所述流动,

在停止所述第一处理气体的所述流动之后,将清扫气体流到所述晶片上,以及

在所述清扫气体流动期间或之后开始所述第二处理气体的所述流动。

22. 根据权利要求21所述的方法,其中所述蚀刻还包括在停止所述第一处理气体之前、期间或之后开始所述清扫气体的所述流动。

23. 根据权利要求18所述的方法,其中:

使所述第一处理气体流动持续第一时间段,并且

使所述第二处理气体流动持续与所述第一时间段不同的第二时间段。

24. 根据权利要求18所述的方法,其中使所述第一处理气体流动和使所述第二处理气体流动两者执行基本上相同的时间段。

25. 根据权利要求1至6中任一项所述的方法,其中所述蚀刻包括使包含所述第一化学物质和所述第二化学物质的处理气体流到所述晶片上。

26. 根据权利要求1-6中任一项所述的方法,其中所述改性包括使用等离子体。

27. 根据权利要求26所述的方法,其中所述等离子体是远程等离子体。

28. 根据权利要求26所述的方法,其中所述等离子体在所述处理室中产生。

29. 根据权利要求1-6中任一项所述的方法,其中所述改性不使用等离子体。

30. 根据权利要求1-6中任一项所述的方法,其中当所述晶片保持在基本相同的温度时发生所述改性和所述去除。

31. 根据权利要求1-6中任一项所述的方法,其中:

当所述晶片保持在所述第一温度时发生所述改性,并且

当所述晶片保持在不同于所述第一温度的第二温度时发生所述去除。

32. 根据权利要求31所述的方法,其还包括在所述改性之后将所述晶片从所述第一温

度加热到大于所述第一温度的所述第二温度。

33. 根据权利要求31所述的方法,其还包括在所述改性之后将所述晶片从所述第一温度冷却至低于所述第一温度的所述第二温度。

34. 根据权利要求1-6中任一项所述的方法,其中当所述晶片从所述第一温度改变至不同于所述第一温度的第二温度时发生所述改性。

35. 根据权利要求1至6中任一项所述的方法,其中在所述晶片从所述第一温度改变至不同于所述第一温度的第二温度时发生所述去除。

36. 根据权利要求1至6中任一项所述的方法,其中在所述处理室维持在基本相同的压强下时发生所述改性和所述去除。

37. 根据权利要求1-6中任一项所述的方法,其中:

当所述处理室维持在第一压强时发生所述改性,并且

当所述处理室维持在不同于所述第一压强的第二压强时发生所述去除。

38. 根据权利要求1至6中任一项所述的方法,其中当所述处理室压强从第一压强改变为不同于所述第一压强的第二压强时发生所述改性。

39. 根据权利要求1至6中任一项所述的方法,其中在所述处理室压强从第一压强改变为不同于所述第一压强的第二压强时发生所述去除。

40. 根据权利要求1-6中任一项所述的方法,其中所述第一化学物质包括以下之一:氟化氢、氟化硫、氟化氮、氟化氙、氯化氢、氯化硫或氯化氮。

41. 一种用于半导体加工的装置,所述装置包括:

第一处理室,其包括第一内部和第一处理站,所述第一处理站具有配置成支撑所述第一内部中的晶片的第一晶片支撑件,以及配置成加热由所述第一晶片支撑件支撑的晶片的第一晶片加热单元;

处理气体单元,其被配置为使以下物质流动:

使包括氟化物或氯化物的第一化学物质流到所述第一处理室中的所述第一处理站处的所述晶片上,以及

使第二化学物质流到在所述第一处理室中的所述第一处理站处的所述晶片上,所述第二化学物质包含具有中心原子铝、硼、硅或锗且具有至少一个氯原子的化合物;以及

具有指令的控制器,所述指令被配置为:

将所述晶片提供给所述第一处理室中的所述第一处理站,所述晶片具有硫族化物材料层,

使所述第一晶片加热单元将所述晶片加热至第一温度,以及

通过以下方式蚀刻所述晶片上的所述硫族化物材料层:在晶片处于第一温度时,致使所述处理气体单元使所述第一化学物质流到在所述第一处理室的所述第一处理站处的所述晶片上来改性硫族化物材料层的表面以创建硫族化物改性层,并且在不使用等离子体的情况下,使所述处理气体单元将所述第二化学物质流到所述第一处理室的所述第一处理站处的所述晶片上,以去除所述硫族化物材料的改性层。

42. 根据权利要求41所述的装置,其中:

所述第一处理室还包括位于所述第一内部的第二处理站,所述第二处理站包括配置成支撑所述第一内部中的晶片的第二晶片支撑件,以及配置成加热由所述第二晶片支撑件支

撑的所述晶片的第二晶片加热单元,并且

所述控制器还配置有指令,所述指令被配置为:

向所述第一处理室中的所述第二处理站提供第二晶片,所述第二晶片具有硫族化物材料层,

使所述第二晶片加热单元将所述第二晶片加热至第一温度,以及

通过以下方式蚀刻所述第二晶片上的所述硫族化物材料层:当晶片处于第一温度时,致使所述处理气体单元使所述第一化学物质流到在所述第一处理室的所述第二处理站处的所述第二晶片上以产生硫族化物材料的改性层以创建硫族化物改性层,并且在不使用等离子体的情况下,使所述处理气体单元使所述第二化学物质流到在所述第一处理室的所述第二处理站处的所述晶片上,以去除所述硫族化物材料的改性层。

43. 根据权利要求42所述的装置,其中对所述晶片上的所述硫族化物材料层的蚀刻和对所述第二晶片上的所述硫族化物材料层的蚀刻同时进行。

44. 根据权利要求41所述的装置,其还包括:

第二处理室,其包括第二内部和被配置为在所述第二内部中支撑晶片的第二晶片支撑件,以及被配置为加热由所述第二晶片支撑件支撑的所述晶片的第二晶片加热单元;以及

晶片传送单元,其被配置为在所述第一处理室和所述第二处理室之间传送晶片,其中:

所述处理气体单元还被配置为使包括前体的第三化学物质流到所述第二处理室中的所述晶片上,并且

所述控制器还包括被配置为执行如下操作的指令:

致使晶片传送单元将所述晶片从所述第一处理室传送至所述第二处理室,以及

通过致使所述处理气体单元使所述前体流到所述晶片上,将封装材料沉积到所述第二处理室中的所述晶片上。

45. 根据权利要求41所述的装置,其中:

所述处理气体单元还被配置为使包括氢和氧的第三化学物质流到所述第一处理室中的所述晶片上,以及

所述控制器还包括被配置为通过致使所述处理气体单元使所述第二化学物质和所述第一化学物质流到所述晶片上而将封装材料沉积到所述第一处理室中的所述晶片上的指令。

## 用于加工硫族化物的技术和装置

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。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且用于所有目的。

### 背景技术

[0002] 半导体设备制造涉及存储器堆叠件的形成,其形成可能很困难,并且通常对蚀刻处理敏感,例如暴露于高能物质,并且对氧化、湿气以及蚀刻后额外暴露于高能物质敏感。因此,一些存储器堆叠件经历蚀刻后处理以解决蚀刻和暴露于环境造成的损坏,随后可以在后续处理之前对存储器堆叠件进行封装。然而,一些在封装之前进行后蚀刻处理的方法以及相应的装置可能无法充分解决对存储器堆叠件的损坏和暴露,并且可能进一步损坏存储器堆叠件。

[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。在此背景技术部分中描述的范围内的当前指定的发明人的工作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] 本公开的系统、方法和设备均具有多个创新方面,其中没有一个单独地负责本文所公开的期望属性。这些方面中包括至少以下实现方案,但是进一步的实现方案可以在详细描述中阐述或者可以从本文提供的讨论中显而易见。

### 附图说明

- [0005] 图1描绘了用于执行根据所公开的实施例的操作的示例性处理流程图。
- [0006] 图2描绘了用于执行根据所公开的实施方案的操作的第二示例性处理流程图。
- [0007] 图3描绘了根据所公开的实施方案的原子层蚀刻的示例示意图。
- [0008] 图4描绘了用于执行根据所公开的实施方案的操作的第三示例性处理流程图。
- [0009] 图5A至5C描绘了根据各种实施方案的示例性气流序列。
- [0010] 图6描绘了根据公开的实施方案的蚀刻的示例性示意图。
- [0011] 图7描绘了蚀刻硫族化物的示例性处理流程。
- [0012] 图8描绘了用于通过ALD处理在衬底上形成材料膜的示例性操作序列的流程图。
- [0013] 图9描绘了用于执行根据所公开的实施方案的操作的第三示例性处理流程图。
- [0014] 图10描绘了根据公开的实施方案的第一示例性处理装置。
- [0015] 图11描绘了蚀刻硫族化物层的又一示例性处理流程。
- [0016] 图12描绘了根据公开的实施方案的第二示例性处理装置。
- [0017] 图13描绘了根据所公开的实施方案的另一种技术。
- [0018] 图14描绘了根据所公开的实施方案的又一种技术。

- [0019] 图15描绘了蚀刻两种硫族化物的示例性处理流程。
- [0020] 图16描绘了根据本公开的用于蚀刻材料的衬底处理室的示例。
- [0021] 图17描绘了根据所公开的实施方案的示例性装置的横截面侧视图。
- [0022] 图18描绘了具有多个LED的衬底加热器的顶视图。
- [0023] 图19提供了示例性温度控制序列。
- [0024] 图20示意性地示出了可用于沉积材料的处理站的实施方案。

### 具体实施方式

[0025] 在下文的描述中,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。所公开的实施方案可以在不具有这些具体细节中的一些或全部的情况下实施。其他示例中,并未详细描述常规的处理操作以免不必要地使所公开的实施方案难以理解。虽然所公开的实施方案将结合特定实施方案进行描述,但应理解,这些特定实施方案并非意在限制所公开的实施方案。

[0026] 在本申请中,术语“半导体晶片”、“晶片”、“衬底”、“晶片衬底”和“部分制造的集成电路”可互换使用。本领域普通技术人员应理解,术语“部分制造的集成电路”可以指在其上制造集成电路的许多阶段中的任何阶段期间的硅晶片。半导体设备工业中使用的晶片或衬底通常具有200mm、或300mm、或450mm的直径。下面的详细描述假设本发明是在晶片上实现的。然而,本发明不限于此。工件可以具有各种形状、尺寸和材料。除了半导体晶片之外,可以利用本发明的其他工件包括各种制品,例如印刷电路板、磁记录介质、磁记录传感器、镜子、光学元件、微机械装置等。

#### 简介和背景

[0027] 半导体制造处理通常涉及氮化硅材料的沉积。在一个示例中,氮化硅可以在半导体设备制造中用作扩散阻挡层、栅极绝缘体、侧壁间隔物和封装层。保形氮化硅层也可用于其他应用。例如,在存储器结构的制造期间可以使用氮化硅。一些存储器结构包括用于位存储的金属氧化物材料。然而,随着先进存储器结构的发展以适应更小的设备尺寸并提高效率,新的挑战出现了。磁阻随机存取存储器和相变随机存取存储器(PCRAM)等先进存储器架构依靠硫族化物等(金属氧化物之外的)新材料来进行位存储。

[0028] 在一些存储设备中,硫族化物,例如奥弗尼克阈值切换(OTS)硫族化物,存在于堆叠件上。OTS和其他硫族化物可能对各种气体和等离子体敏感。以PCRAM为例,金属硫族化物的相决定了位状态。一些示例性硫族化物包括硫(S)、硒(Se)和碲(Te)。这些新材料对空气和湿气敏感,可能需要封装层。当与适当的准金属离子如锗(Ge)、锑(Sb)等结合时,这些硫族化物形成相变层。在一些情况下,存储器设备包括锗锑碲(GST)材料。如果损坏,硫族化物可能无法正常工作;例如,相变层可能不改变相。

[0029] 使用硫族化物需要沉积硫族化物并从晶片去除部分沉积的硫族化物,例如从沟槽或通孔内去除一些硫族化物,以创建所需的结构。期望在期望的不均匀性公差内蚀刻硫族化物,但不损坏和/或改变旨在保留在晶片上的硫族化物材料的成分。然而,从晶片去除一些硫族化物提出了独特且困难的挑战和考虑,并且常规蚀刻无法在期望的不均匀性公差内去除一些硫族化物而不损坏和/或改变硫族化物材料的组成。

[0030] 一些用于去除硫族化物的常规技术也可能对晶片产生不利影响。例如,使用等离

子体的反应离子蚀刻 (“RIE”) 有时会导致蚀刻均匀性差, 并对硫族化物造成不必要的损坏, 从而降低其性能并阻止其成为有效的PCRAM。RIE蚀刻中的等离子体也是定向的, 而不是各向同性的, 由此限制了其在垂直于衬底表面的方向上蚀刻的能力, 从而防止其在架子下或悬垂物下蚀刻。例如, 晶片可以具有诸如通孔或接触孔之类的“特征”, 其特征可以是狭窄和/或凹入开口、特征内的收缩以及高深宽比中的一种或多种。特征的一个示例是半导体衬底或衬底上的层中的孔或通孔。其他示例包括衬底或层中的沟槽, 以及可能需要在RIE蚀刻中使用的定向离子无法到达的位置进行蚀刻的悬垂部或搁架。

[0031] 一些使用RIE蚀刻的处理需要执行蚀刻后操作, 有时称为“清洁”或“清洁中”操作, 以至少去除一些受损的硫族化物材料。然而, 这些清洁操作会降低产量、增加成本、进一步损坏晶片, 并且可能难以实施。一些这样的清洁操作利用湿法清洁处理, 其中将晶片暴露于多种液体化学品, 以从晶片的表面去除受损的硫族化物材料。然而, 湿法清洁处理可能会以各种方式损坏晶片。在某些情况下, 液体化学品本身可能会改变某些硫族化物材料 (例如GST) 的成分, 这可能会进一步损坏硫族化物。另外, 湿式清洁液对具有硫族化物的结构 (例如沟槽或通孔内的液体) 施加的毛细管力会导致结构塌陷。一些湿法清洁处理可以通过使用表面改性反应物来避免这种崩溃, 但是这些反应物可能保留在硫族化物的表面上并对晶片上的硫族化物或其他材料产生不利影响。损坏去除的量还取决于损坏的硫族化物对未损坏的主体硫族化物的选择性, 从而增加了去除损坏的硫族化物的挑战和难度。

[0032] 此外, 湿法清洁处理中使用的液体可能成本高昂, 并且需要复杂的液体存储和输送系统, 该系统可能难以操作和维护。此外, 湿法清洁操作在大气压下进行, 而许多蚀刻和蚀刻后处理, 例如将封装层沉积到蚀刻的硫族化物上, 是在真空压强下进行。因此, 将晶片从执行蚀刻的真空环境转移至大气压以进行湿式清洁, 然后返回至真空环境以进行进一步的蚀刻后处理。在真空和大气环境之间传送晶片增加了处理时间, 这降低了产量, 可能由于颗粒污染而导致晶片缺陷, 并且可能将蚀刻的硫族化物材料暴露于空气、氧气或 $N_2$ , 并因此氧化和损坏蚀刻的硫族化物材料。湿法清洁操作通常在单独的室中进行, 该室与复杂的液体存储和输送系统在制造环境中需要额外的空间, 从而扩大了半导体加工工具的占地面积并防止在设施中放置额外的工具从而降低设施内的整体吞吐量。

[0033] 本文提供了用于蚀刻和进一步加工硫族化物材料的技术和装置。该技术使用热蚀刻 (其可以包括热原子层蚀刻) 来在RIE蚀刻或其他基于离子的蚀刻之后执行硫族化物材料的清洁操作, 而不是湿式清洁操作, 和/或替代地蚀刻主体硫族化物材料而不是RIE或其他基于离子的蚀刻。这可以包括对单层硫族化物材料或材料堆叠中的多层硫族化物进行热蚀刻。如下文更详细解释的, 热蚀刻可以通过使具有氟化物或氯化物的第一化学物质流到晶片上来改性硫族化物材料层的表面以产生硫族化物材料的改性层, 并且通过使第二化学物质流到晶片上以不使用等离子体去除硫族化物的改性层, 该第二化学物质包括具有中心原子铝、硼、硅或锗且具有至少一个氯原子的化合物。

[0034] 原子层蚀刻 (“ALE”) 处理利用顺序自限反应去除薄材料层。通常, ALE循环包含形成反应性层的改性操作、接下来仅移除或蚀刻该反应性层的移除操作。循环可以包含某些辅助操作, 例如移除反应物或副产物中的一者以及去除在处理室的表面上积累的残留物的清洁操作。一般而言, 一个循环包含多个操作中的独特序列的一示例。

[0035] 举例来说, ALE循环可包括以下操作: (i) 输送作为反应气体的第一处理气体, (ii)

从室中清扫反应气体, (iii) 输送第二处理气体, 其是去除气体和可选的等离子体, 以及 (iv) 清扫室。改性操作(上文第(ii)项)通常形成薄的反应性表面层, 其厚度小于未改性材料, 例如一层、两层或三层原子层厚, 或小于一个循环内的整个原子层的厚度。

[0036] 本文描述的蚀刻处理可以依赖于化学反应并结合将衬底维持在特定温度或温度范围以驱动改性和/或去除操作中的化学反应, 这可以被认为是“热ALE”或“热蚀刻”。在一些实施方案中, 热蚀刻或热ALE可以被认为是各向同性蚀刻。在一些实施方案中, 可以用化学吸附(下文中称为“化学吸附”)而不是用等离子体来改性衬底的一个或多个层, 同时将衬底保持在第一温度, 之后当衬底处于第二温度时, 可以通过解吸而不是通过等离子体去除衬底的一个或多个改性层。一些实现方案可以可选地在改性操作期间而不是在去除操作期间使用等离子体。在一些实施方案中, 第一温度和第二温度可以相同, 而在一些其他实施方案中, 它们可以彼此不同。

[0037] 化学吸附和解吸是依赖于温度的化学反应, 它们可以在单独的温度范围内发生, 可以在部分重叠的温度范围内发生, 或者可以在相同的温度范围内发生。因此, 本文描述的一些热蚀刻技术在改性和去除操作期间将衬底的温度维持在相同或基本上相同(例如, 彼此相差约10%或5%内)的温度。一些其他实施方案在改性和去除操作之间调节衬底的温度, 以便能够实现并利用在一个温度下发生的化学吸附用于改性操作, 并且能够实现并利用在不同温度下发生的解吸用于去除操作。

[0038] 在本文提供的一些热蚀刻处理中, 材料的一个或多个表面层通过化学吸附而被改性, 同时衬底保持在第一温度; 这可能导致衬底的一层或多层改性表面层的产生。衬底包括材料层和暴露表面, 其可以是均匀材料层或者可以是包括不同分子和元素的非均匀层。具有改性分子的第一处理气体可以流到保持在第一温度的衬底上。在一些实施方案中, 改性分子可以包括氟或氯, 如下所述, 以便氟化或氯化衬底上的分子。第一处理气体还可包括载气, 例如 $N_2$ 、Ar、He和Ne。该第一温度允许改性分子与材料的暴露表面中的至少一些分子之间的化学吸附。

[0039] 当衬底保持在第二温度时, 可以去除一个或多个改性表面层。在一些实施方案中, 仅第二温度就可以实现并导致改性分子从衬底解吸, 从而从衬底去除改性分子。在一些其他实施方案中, 具有去除分子的第二处理气体可以流到衬底上, 包括流到衬底的暴露表面上。第二处理气体还可包括如上所述的载气。这些去除分子可以与改性分子反应以形成不同的挥发性分子, 其可以被认为是挥发性分子。当衬底处于第二温度时, 该挥发的分子又可以通过解吸从衬底去除。在一些实施方案中, 第二处理气体的这种流动可以是去除操作的一部分或者可以是在衬底的加热之前、之后或期间发生的单独的操作。

[0040] 在一些实施方案中, 热ALE可以是各向同性的并且因此是非定向的。在一些其他实施方案中, 当在蚀刻处理中(诸如在改性操作期间)使用定向离子时, 热ALE不是各向同性的。

[0041] 可以执行其他热蚀刻, 其中改性和去除分子至少协流(co-flow)到衬底上, 并且因此改性和去除操作至少部分重叠。在这种处理期间, 包含改性分子和去除分子的一种或多种处理气体可以协流到晶片上。在这种热蚀刻的许多实施方式中, 改性分子和去除分子被限制为彼此不发生不良反应, 使得它们可以共协流到衬底上。在一些情况下, 该协流可针对所有蚀刻发生, 而在其他情况下, 协流可仅针对部分蚀刻发生。在仅具有部分重叠流的一些

示例中,可以在去除分子流到衬底上之前使改性分子流到衬底上,之后可以将改性分子和去除分子两者协流到衬底上。在一些情况下,改性分子和去除分子两者的流动可以基本上同时停止(例如,彼此相差约10%或5%内),而在其他情况下,改性分子的流动可以停止并且去除分子可以流到衬底上。

[0042] 本文提供的技术还可以将一种或多种封装材料沉积到被蚀刻的硫族化物上。这可以包括在与执行蚀刻的处理室分开的处理室中使用化学气相沉积(“CVD”)、等离子体增强CVD(“PECVD”)或原子层沉积(“ALD”)来沉积封装材料。一些实施方案可以在这些处理室之间传送晶片而不将晶片暴露于大气压强,使得晶片在两个处理室中以及在处理室之间的传送期间保持在真空压强下。在一些实施方案中,第一封装材料层可以沉积在蚀刻的硫族化物上,同时晶片保留在其中执行蚀刻的处理室中,并且第一封装材料可以包括铝,例如氧化铝。在沉积第一封装材料之后,可以将晶片转移至另一处理室,在另一处理室中将额外的封装材料沉积在晶片上。

#### 热蚀刻和封装技术

[0043] 本公开的各方面涉及一层或多层硫族化物材料的热蚀刻。如上所述,热蚀刻处理依赖于化学反应并结合将衬底维持在特定温度或温度范围以驱动改性和/或去除操作中的化学反应。在一些实施方案中,热蚀刻或热ALE可以被认为是各向同性蚀刻,即非定向蚀刻。在一些实施方案中,可以用化学吸附而不是等离子体来改性衬底的一个或多个层,同时将衬底保持在第一温度,之后当衬底处于第二温度时,可以通过解吸而不是等离子体来去除衬底的一个或多个改性层。一些实施方式可以可选地在改性操作期间而不是在去除操作期间使用等离子体。在一些实施方案中,第一温度和第二温度可以相同,而在一些其他实施方案中,它们可以彼此不同。

[0044] 本文描述的一些技术通过执行改性操作来蚀刻硫族化物材料,其中使含有氟(例如氟化氢)或氯(例如氯化氢)的第一化学物质流到晶片上以改性硫族化物层的表面并形成硫族化物材料的改性层。具有氟化物或氯化物的第一化学物质可以被认为是本文描述的改性分子。该改性将硫族化物层转化为氟化硫族化物或氯化硫族化物。硫族化物的改性层是反应性的,并且可以通过使第二化学物质流到晶片上来去除,该第二化学物质包含具有中心原子(铝、硼、硅或锗)并且具有至少一个氯原子的化合物。第二化学物质中的化合物与氟化硫族化物或氯化硫族化物反应以形成从晶片解吸的挥发性分子。

[0045] 图1描绘了根据所公开的实施方案执行操作的示例性处理流程图。在框101中,将晶片提供至配置成执行晶片蚀刻的处理室。晶片可以具有沉积在其上的硫族化物层,并且在一些情况下,硫族化物层的表面可以暴露于处理室环境。在晶片上,该硫族化物还可以沿着孔、通孔或沟槽的侧壁和/或底部、在架子或特征的下侧、和/或特征的顶表面上定位。在一些此类实施方式中,各向同性热蚀刻(包括热ALE)是有利的,因为它可以执行非定向、非视距蚀刻(non-line-of-sight etching)以到达具有高深宽比的区域和视线之外的区域,例如架子下或悬垂的区域。

[0046] 硫族化物可以是本文列出的那些中的任何一种。在一些实施方式中,硫族化物可以是相变材料,例如锗(Ge)锑(Sb)碲(Te)(统称为“GST”或“GeSbTe”)材料。这还可能包括n掺杂的GeSbTe化合物(N-GST)、Sb<sub>2</sub>Te以及掺杂Ag和In(AIST)的Sb<sub>2</sub>Te。如上所述,相变材料有利于用于形成存储设备,因为例如金属硫族化物的相决定了位状态。在一些实施方案中,硫

族化物可包括不改变相的那些,例如奥弗尼克阈值切换(OTS)材料,其可包括具有锗、砷和硒的化合物(GeAsSe)或例如含有锗、锑、硒和氮(GeSb、Se、N)的化合物。

[0047] 在框103中,将晶片加热至第一温度,如本文所提供的,该第一温度可以被认为是特定温度,或者可以是温度范围。在一些实施方案中,第一温度可以为约20°C至约500°C、约20°C至约150°C、约20°C至约80°C、约20°C至约100°C,约100°C至约450°C、约100°C至约400°C、约150°C至约400°C、约200°C至约600°C、约200°C至约500°C,例如,约200°C至约350°C,或约350°C至约500°C。如下文更详细讨论的,在蚀刻、改性操作和/或去除操作的全部或基本上全部(例如,至少80%、90%或95%)期间,晶片可以保持在第一温度。

[0048] 在框105中,通过使具有氟化物或氯化物的第一化学物质流到晶片上来改性硫族化物层的表面,并产生氟化硫族化物层或氯化硫族化物层,以及通过流动第二化学物质来去除氟化硫族化物或氯化硫族化物层,从而蚀刻晶片上的硫族化物层,所述第二化学物质具有中心原子铝、硼、硅或锗且具有至少一个氯原子的化合物。一些实现方案可以具有单独的改性和去除操作,在一些情况下,这些操作可以通过清扫操作来分开。这些实现方案可以被认为是自限蚀刻。一些其他实现方案可以具有至少部分重叠的改性和去除操作,在一些实施方案中,可以通过使第一物质(即,改性分子)和第二物质(即,去除分子)协流到晶片上来执行这些操作。

[0049] 具有氟化物的第一化学物质可包括以下非限制性示例中的一者或多者:氟化氢,例如HF,氟化硫,例如四氟化硫或六氟化硫或硫酰氟(SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>),氟化氮如三氟化氮,和氟化氙如二氟化氙。具有氯的第一化学物质可包括以下非限制性示例中的一者或多者:氯化氢,例如HCl,氯化硫,例如二氯化硫或四氯化硫或磺酰氯(SO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>),或氯化氮如三氯胺(NCl<sub>3</sub>)。与其他卤素或分子相反,使用氟物质或氯物质来改性硫族化物层的表面会产生独特的反应性化合物,当存在去除分子时,该化合物能够使并允许去除所有硫族化物,因为氟和氯与表面的结合非常牢固,并削弱了与底层的结合。第一化学物质可以以蒸气形式流到晶片上,并且可以作为处理气体的一部分流动,处理气体可以可选地包括载气,例如氮气、氩气、氦气或氙气。

[0050] 具有中心原子铝、硼、硅或锗且具有至少一个氯原子的化合物的第二化学物质可以包括各种化合物。在一些实现方案中,该化合物可以任选地包括氢、甲基或乙基。例如,该化合物可以具有铝中心原子以及氯和甲基,例如二甲基氯化铝(DMAC)或三甲基氯化铝(TMA)。在另一个示例中,该化合物可以具有硼中心以及多个氯原子,例如三氯化硼(BCl<sub>3</sub>)。在又一个示例中,该化合物可以具有硅中心以及多个氯原子,例如四氯化硅(SiCl<sub>4</sub>)。

[0051] 第二化学物质的化合物与氟化硫族化物或氯化硫族化物反应,导致其元素变得具有挥发性并从晶片解吸。例如,该交换反应在能量上是有利的,因此氟化硫族化物或氯化硫族化物能够与化合物形成挥发性化合物,例如通过氯的转移,或通过结合形成含有氟化物和氯化物组合的挥发性锗、锑和碲化合物。第二化学物质也可以以蒸气形式流到晶片上,并且可以作为处理气体的一部分流动,处理气体可以可选地包括载气,例如氮气、氩气、氦气或氙气。

[0052] 在一些实施方案中,框105的蚀刻可以在能够进行这种蚀刻的各种处理条件下执行。除了上面提供的温度范围之外,一些实现方案可以将例如在蚀刻期间的衬底维持在约20°C至约500°C、约20°C至约150°C、约20°C至约80°C、约20°C至约100°C、约100°C至约450

℃、约100℃至约400℃、约150℃至约400℃、约200℃至约600℃、约200℃至约500℃、约200℃至约350℃、或约350℃至约500℃。还可以在处理室维持在约20毫托(mTorr)与760托(1atm)之间的压强下进行蚀刻,例如包括约20mTorr与600mTorr之间、约30mTorr与500mTorr之间、以及约40mTorr与400mTorr之间,以及约3Torr和8Torr之间,约4Torr和8Torr之间,2Torr和10Torr之间,以及100Torr和760Torr之间。如下文更详细讨论的,一些实现方案在基本恒定的处理条件下执行框105的蚀刻(例如,具有微小偏差,例如设定条件的约10%或5%的偏差),而其他实现方案可以改变蚀刻处理中一个或更多的处理条件。

[0053] 一些实现方案可以使用单独的改性和去除操作来蚀刻硫族化物材料。图2描绘了根据所公开的实施方案的用于执行操作的第二示例性处理流程图。这里,框201和203与图1中的框101和103相同。在图2中,框105的改性和去除操作分别作为单独的操作(框205A和205B)来执行。这可以被视作自限蚀刻,以及ALE或热ALE。

[0054] 在框203之后,在框205A中改性硫族化物层的表面,即,该框表示改性操作。如上文关于图1的框105所述改性硫族化物层,不同的是这里,框205A包括使包括具有氟化物或氯化物的第一化学物质的第一处理气体流到晶片上。与框105一样,使第一化学物质流到晶片上改性硫族化物层的表面并产生氟化硫族化物层或氯化硫族化物层,其独特地能够通过暴露于第二化学物质并与第二化学物质反应而被去除。第一处理气体中的该第一化学物质可以是本文提供的那些中的任何一种,包括以下非限制性示例中的一个或多个:氟化氢,例如HF,氟化硫,例如四氟化硫或六氟化硫或硫酰氟化物、氟化氮如三氟化氮、氟化氙如二氟化氙、氯化氢如HCl、氯化硫如二氯化硫或四氯化硫或硫酰氯、或氯化氮如三氯胺( $\text{NCl}_3$ )。第一处理气体还可以以蒸气形式流到晶片上,并且可以可选地包括载气,例如氮气、氩气、氦气或氙气。框205A的改性操作可以通过停止第一处理气体流向晶片来停止。

[0055] 在一些实施方案中,可以提供活化能以帮助克服改性分子吸附在晶片上的活化势垒。在一些情况下,可以用热能、自由基能和/或UV光子来提供该激活能,这可以包括加热晶片和/或产生等离子体或光子。改性分子到第一材料上的这种吸附可以被认为是化学吸附或“化学吸附(chemisorption)”,其是能量依赖性(例如,温度依赖性)化学反应。对于一些热蚀刻技术,改性操作期间的这种化学吸附可能仅在特定温度范围内发生,该温度范围能够克服材料层中的分子和进入的改性分子的活化势垒,从而允许这些分子和改性分子中的吸附物之间解离和化学键合。在此温度范围之外,化学吸附可能不会发生,或者可能以不期望的(例如,缓慢的)速率发生。

[0056] 因此,框205A的一些实现方案仅使用热激活能而不是等离子体来改性硫族化物的表面层。第一处理气体流到维持在提供活化能的第一温度的晶片上,并且硫族化物通过化学吸附而被改性以形成硫族化物的改性层。第一温度可以是本文提供的任何温度或温度范围,例如约20℃至约500℃、约20℃至约150℃、约20℃至约80℃、约20℃至约100℃、约100℃至约450℃、约100℃至约400℃、约150℃至约400℃、约200℃至约600℃、约200℃至约500℃、约200℃至约350℃、或约350℃至约500℃。另外,在整个或基本上所有(例如,至少80%、90%或95%)的改性操作期间,晶片可以保持在第一温度。改性操作的持续时间可以是衬底上基本上所有(例如,至少80%、90%或95%)所需暴露分子发生改性的持续时间。这可以在例如约0.5秒至约600秒、约0.5秒至约400秒、约0.5秒至约300秒、约0.5秒至约10秒、约0.5秒至约5秒、约1秒至约5秒或约5秒至约300秒的范围内。

[0057] 在一些实现方案中,离子能(例如来自等离子体的离子能)可用于驱动框205A的改性操作。在一些情况下,等离子体可以被点燃并且氟或氯可以与晶片反应或者可以被吸附到晶片的表面上。从等离子体生成的物质可以通过在容纳晶片的处理室中形成等离子体来直接生成,或者它们可以在不容纳晶片的处理室中远程生成,并且可以被供应到容纳晶片的处理室中。

[0058] 在框205A的改性操作之后,在框205B中从晶片去除改性的硫族化物,即氟化硫族化物或氯化硫族化物。该去除按照上面关于图1的框105所述的方式进行,期望在这里,框205B包括将第二处理气体流到晶片上,该第二处理气体包括具有中心原子铝、硼、硅或锗和至少一个氯原子的化合物的第二化学物质。与框105一样,第二物质与氟化硫族化物或氯化硫族化物反应并导致其成分从晶片解吸,并因此从晶片去除。第二处理气体中的该第二化学物质可以是本文提供的那些中的任何一种,例如DMAC、TMA或BCl<sub>3</sub>。第二处理气体还可包括载气,例如氮气、氩气、氦气或氖气。框205B的去除操作可以通过停止流向晶片的第二处理气体来停止。

[0059] 对于解吸,特定的温度范围可以使改性分子的活化势垒被克服,从而允许改性层从晶片上释放。在一些示例中,发生化学吸附和解吸的温度范围不重叠,而在其他示例中,它们可以部分或完全重叠。因此,为了使用化学吸附和解吸从晶片去除分子,一些实现方案可以在去除和改性操作期间将晶片保持在相同或基本上相同(例如,彼此相差约10%或5%内)的温度。为了利用在不同温度范围内发生的化学吸附和解吸从晶片去除分子,框205A的改性操作可以在第一温度范围内发生,并且框205B的去除操作可以在第二不同温度范围内发生,该第二温度可以是高于或低于第一温度。一些这样的实施方案可以通过在去除和改性操作期间将晶片维持在相同或基本上相同的温度来执行多个循环以去除多层材料,而其他实施方案可以在两个温度范围之间重复地加热和冷却晶片以用于化学吸附和解吸。

[0060] 在使用不同温度机制的一些实施方案中,在框205B期间或之前,可以使晶片的温度达到第二温度,该第二温度不同于在框205A的改性操作期间晶片维持的第一温度。在一些其他实施方案中,第二温度与第一温度相同或基本相同(例如,彼此相差约10%或5%内)。该第二温度可以是一个或多个改性表面层发生解吸的温度。在一些实施方案中,第二温度可以高于第一温度,并且在这些实施方案中,框205B可以包括将晶片从第一温度加热到第二温度。在一些其他实施方案中,第二温度可以小于第一温度,并且在这些实施方案中,晶片可以被主动地从第一温度冷却到第二温度。

[0061] 可以使用辐射加热、对流加热、固体到固体热传递或用等离子体来加热晶片。另外,晶片顶部、底部或两者都可以被加热。如下文进一步讨论,在一些实施方案中,晶片的加热也可以以非线性方式进行。还如下所述,可以以各种方式主动冷却晶片。在一些情况下,可以通过将晶片定位到两个单独的衬底支撑件(例如加热基座)上来将晶片加热到两个不同的温度,每个衬底支撑件保持在彼此不同的温度。因此,通过在这两个不同的衬底支撑件之间转移并放置在这两个不同的衬底支撑件上,可以将晶片加热到两个不同的温度。

[0062] 在框205B中,可以去除一个或多个改性的表面层,同时将晶片保持在第二温度。在一些实施方案中,仅第二温度就可以实现并导致改性分子从晶片解吸,从而从晶片去除改性分子。

[0063] 在一些实施方案中,第二温度可以为例如约20°C至约500°C、约20°C至约150°C、约

20°C至约80°C、约20°C至约100°C,约100°C至约450°C,约100°C至约400°C、约150°C至约400°C、约200°C至约600°C、约200°C至约500°C,约200°C至约350°C,或约350°C至约500°C。另外,在整个或基本上所有(例如,至少80%、90%或95%)的去除操作期间,晶片可以保持在该温度。去除操作的持续时间可以是晶片上基本上所有(例如,至少80%、90%或95%)所需分子发生解吸的持续时间。这可以在例如约0.5秒至约600秒、约0.5秒至约400秒、约0.5秒至约300秒、约0.5秒至约10秒、约0.5秒至约5秒、约1秒至约5秒,或约5秒至约300秒的范围内。

[0064] 框205A和205B的性能可以被认为是单个热ALE循环。在一些实现方案中,可以重复这些框205A和205B,以便执行多个循环并去除硫族化物的原子单层、亚单层以及多层。一些实施方案在一个循环中去除单层的一小部分,因为一些蚀刻速率可能低于正被蚀刻的材料晶格常数。这可以包括进行例如约1至约1000个循环、约1至约500个循环、约1至约100个循环、约1至约30个循环、或约1至约20个循环。可以包括任何合适数量的ALE循环以蚀刻期望量的硫族化物膜。在一些实施方案中,周期性地执行ALE以蚀刻晶片上的层约1埃(Å)至约50Å的表面。在一些实施方案中,ALE循环蚀刻晶片上的层的约2Å至约50Å的表面。在一些实施方案中,每个ALE循环可以蚀刻至少约0.1Å、0.5Å、1Å、2Å或3Å。如图2进一步所示,框205A和205B以及在一些实现方案中框207的可选清扫可以重复N个ALE或蚀刻循环。一旦决策步骤209确定已经执行了N个ALE循环,则蚀刻可以完成并且因此可以结束。

[0065] 在一些操作中,可以在框205A的改性操作之后并且在框205B的去除操作之前执行框207的可选清扫操作。在清扫操作中,非表面结合的活性改性分子,例如氟物质或氯物质,和/或其他残留物或颗粒,可以从处理室、室壁、室气体体积和/或衬底去除。这可以通过清扫和/或抽空处理室以去除活性物质或其他元素来完成,而不去除吸附层。等离子体中产生的物质可以通过停止等离子体并允许剩余物质衰变来去除,任选地与室的清扫和/或抽空相结合。可以使用任何惰性气体进行清扫,例如N<sub>2</sub>、Ar、Ne、He及其组合。清扫还可以在本文提供的任何操作、框或步骤之后进行,包括在改性操作之后、在去除操作之后或两者之后。由于清扫是可选的,因此某些实现方案可能没有任何清扫。

[0066] 一些实现方案分别改变框205A和205B的改性和去除操作的处理条件,例如每个操作的持续时间、温度和压强。在一些实施方案中,框205A和205B可以被执行大约相同的时间(例如,彼此相差在约10%或5%内),而在其他实施方案中,它们可以被执行不同的时间。例如,框205A可以执行比框205B更短或更长的时间段。每个框的各个时间段的范围可以为例如约0.5秒至约600秒、约0.5秒至约400秒、约0.5秒至约300秒、约0.5秒至约10秒、约0.5秒至约5秒,约1秒至约5秒,或约5秒至约300秒。

[0067] 在一些实现方案中,框205A的改性操作和框205B的去除操作可以在不同的压强下执行。例如,框205A的改性操作可以在第一压强或第一压强范围下执行,并且框205B的去除操作可以在与框205A的改性操作不同的第二压强或第二压强范围下执行。尽管图2中未描绘,但一些实现方案可包括将压强从第一压强改变为第二压强的压强调节操作。例如,该压强调节可以发生在框205A和205B之间。类似于上文,第一压强和第二压强可以是例如约20毫托(mTorr)与760托(1atm)之间,包括例如约20mTorr与600mTorr之间、约30mTorr与500mTorr之间、以及约40mTorr与400mTorr之间,以及在约3Torr与8Torr之间、约4Torr与

8Torr之间、2Torr与10Torr之间、以及100Torr和760Torr之间。在一些其他实施方案中,框205A的改性操作和框205B的去除操作可以在基本相同的压强(例如,彼此在约10%或5%内)下执行,例如在此处所描述的任何压强或压强范围。

[0068] 利用图3进一步解释所描述的蚀刻的一些实现方案,图3描绘了根据所公开的实施方案的原子层蚀刻的示例示意图。图300a-300e显示了ALE循环。在300a中,提供具有一层或多层硫族化物的晶片。在300b中,硫族化物的表面被改性。在300c中,准备下一步操作;该准备可以包括流动第二处理气体或清扫室。在300d中,晶片暴露于去除分子,该去除分子与改性硫族化物层反应并导致其从晶片解吸,并因此从晶片去除。在300e中,所需的材料已被去除。

[0069] 在图302a-302e中,从晶片蚀刻单层硫族化物材料。在302a中,提供晶片并且其具有一层或多层硫族化物层,其中每个硫族化物分子表示为无阴影圆圈。硫族化物的顶层可以被认为是表面层306。在302b中,将具有包括氟化物或氯化物的改性分子308(实心黑色圆圈,其中一些用标识符308标识)的第一处理气体引入晶片,其改性硫族化物表面层306以形成氟化硫族化物或氯化硫族化物。302b中的示意图示出了一些改性分子308被吸附到表面层306的硫族化物分子304上以产生包括改性分子312的改性表面层310(在302b中的虚线椭圆内部识别出一个改性分子312)。如上所述,改性分子308可以是具有氟的物质,例如氟化氢,或具有氯化物的物质,例如氯化氢。另外,硫族化物可以是本文提供的任何材料,例如GeSbTe或OTS材料。对于一些热ALE技术,该图302b可以在晶片维持在如上所述的第一温度时出现,例如,这使得改性分子能够化学吸附在硫族化物材料的表面上。在一些其他实现方案中,该改性操作可以是等离子体辅助的。

[0070] 在图302c中,在302b中产生改性分子312和改性表面层310之后,可以任选地从室中清扫第一处理气体,如上所述并在图2中的框207中表示。

[0071] 在图302d中,去除分子314被引入到处理室中,并且在一些实施方案中,这可以通过使具有第二物质(即,具有去除分子314)的第二处理气体流到晶片和第二物质上来发生可以包括具有中心原子铝、硼、硅或锗且具有至少一个氯原子的化合物,例如DMAC。示意图302d还示出了显示为阴影菱形的去除分子314,其与氟化硫族化物或氯化硫族化物(即,改性分子312)反应,这导致硫族化物304和氟化物308或氯化物308解吸,并且从而从晶片上去除。在一些实施方案中,去除分子314和改性分子312之间的反应导致改性分子308从晶片解吸,并导致去除分子和硫族化物形成另一种化合物316(由硫属化物304无阴影圆圈和去除分子314阴影菱形的组合示出),其从晶片解吸。在未示出的一些其他实施方案中,去除分子和改性分子一起形成另一种化合物,导致其从晶片解吸。

[0072] 在一些热ALE实施方案中,该去除操作可以在第二温度下执行,在该第二温度下发生改性表面层310的改性分子312从晶片的解吸附;在这些去除操作中的一些中可以不使用等离子体。在一些实施方案中,第二温度与第一温度相同或基本相同(例如,彼此相差在约10%或5%内)。在其他实施方案中,第一温度和第二温度可以彼此不同,并且在这些实施方案中,可以通过加热或冷却衬底将温度从第一温度改变为第二温度。在一些情况下,一项或多项操作中的温度可以升高。

[0073] 在302e中,已从晶片去除改性分子312,并因此去除改性表面层310。

[0074] 如上所述,一些实现方案可以具有至少部分重叠的改性物质和去除物质的流,例

如HF和BCl<sub>3</sub>的重叠流。图4描绘了根据所公开的实施方案的用于执行操作的第三示例性处理流程图。这里,框401和403与图1中的框101和103相同。在图4中,框105的改性和去除操作的至少一部分同时执行,如同时发生的框405A和405B所示。除了所指出的差异之外,框405A的改性操作和框405B的去除操作可以与上文所描述的相同,所述差异包括第一物质流和第二物质流到晶片上的时序和重叠。例如,框405A的第一物质具有氟化物或氯化物,其流到硫族化物层的表面上并且改性硫族化物表面以产生改性表面层,例如氟化硫族化物或氯化硫族化物。另外,框405B的第二物质具有中心原子铝、硼、硅或锗且具有至少一个氯原子的化合物,其与硫族化物的改性表面层反应以将其从晶片去除。其他处理条件和实现方案如下所述。每种处理气体还可以包括如上所提供的载气。

[0075] 在一些实施方案中,框405A的改性操作和框405B的去除操作仅对于一些蚀刻重叠。在其他实施方案中,这些框405A和405B对于基本上所有蚀刻都重叠(例如,彼此相差在约10%或5%内);这些实现方案中的一些实现方案使第一和第二化学物质在流到晶片上的同一处理气体中,而一些其他实现方案使这些物质在协流或同时流到晶片上的单独的处理气体(separate process gases)中。

[0076] 图5A至5C描绘了根据各种实施方案的示例气流序列。在图5A中,具有第一物质的第一处理气体和具有第二物质的第二处理气体没有任何重叠地流到晶片上,并且可以被认为是关于图2和图3描述的气流。这里,第一处理气体从时间t1到时间t2流动,之后关闭;这可以被认为是框205A和示意图302b的改性操作。在一些情况下,可选的清扫操作可以在时间t2和时间t3之间执行,例如可选的框207和示意图302c。在t3时间,第二处理气体流到晶片上,直到t4时间为止,直至停止;该时间段可以被认为是框205B和示意图302d的去除操作。

[0077] 在图5B中,第一处理气体和第二处理气体仅在一部分蚀刻中重叠。在时间t1,第一处理气体流到晶片上,而第二处理气体不流到晶片上,该处理持续到时间t2。这也可以被认为是框205A和示意图302b的改性操作。在时间t2,第二处理气体流到晶片上,同时第一处理气体流到晶片上。在时间t2和时间t3之间,第一和第二处理气体均流到晶片上;这可以被认为是第一处理气体和第二处理气体的重叠或协流周期。返回参考图4,该重叠时段可以被认为是框405A和405B的同时执行。在图5B的时间t3处,第一处理气体流停止,并且第二处理气体继续流动直到其停止时的时间t4。这次也可以被认为是框205B和示意图302d的去除操作。

[0078] 在一些实施方案中,可以在图5B所示的蚀刻期间调整晶片的温度。例如,晶片可以在时间t1和t2之间维持在第一温度,在时间t2调节到第二温度并且维持在该第二温度直到时间t3或t4。在一些这样的实现方案中,可以在时间t3直到时间t4将温度调节至第三温度。在一些其他实施方案中,温度可以从时间t1到时间t3保持在第一温度,然后调节至第二温度。在一些实施方案中,这可以被认为是温度上升或下降序列,其中第二温度大于或小于第一温度,并且当适用时,第三温度大于或小于第二温度。这些温度可以是上文提供的任何温度。在本文提供的任何蚀刻期间调节温度可以允许化学吸附和解吸附的附加控制和使用。在一些其他实施方案中,晶片可以在图5B的蚀刻期间保持在基本上恒定的温度(例如,在设定温度的约10%或5%内)。

[0079] 类似地,晶片温度可以在改性、去除或两者期间升高或降低。例如参考图5A,在时

间 $t_1$ 和时间 $t_2$ 之间的改性操作期间,晶片温度可以从第一温度升高到更高的第二温度,或者从第一温度降低到更低的第三温度。替代地或附加地,在时间 $t_3$ 和 $t_4$ 之间的去除操作期间,晶片温度也可以升高或降低。

[0080] 替代地或附加地,可以在图5B的蚀刻期间调节室压强。例如,室可以在时间 $t_1$ 和 $t_2$ 之间维持在第一压强,在时间 $t_2$ 调节到第二压强并且维持在该第二压强直到时间 $t_3$ 或 $t_4$ 。在一些这样的实现方案中,可以在时间 $t_3$ 直到时间 $t_4$ 将压强调节至第三压强。在一些其他实施方案中,压强可以从时间 $t_1$ 到时间 $t_3$ 保持第一压强,然后调节至第二压强。在一些实施方案中,这可以被认为是压强上升或下降顺序,其中第二压强大于或小于第一压强,并且当适用时,第三压强大于或小于第二压强。这些压强可以是本文上面提供的那些压强中的任何压强。在本文提供的任何蚀刻期间调节压强可以允许额外控制和使用化学吸附和解吸附,以及减少室中不需要的残留物累积。在一些其他实施方案中,压强在图5B的蚀刻期间可以基本上恒定(例如,与设定压强相差在约10%或5%内)。

[0081] 类似地,室压强的增加或减少可以在改性、去除或两者期间进行。例如参考图5A,在时间 $t_1$ 和时间 $t_2$ 之间的改性操作期间,室压强可以从第一压强增加到更大的第二压强,或者从第一压强减小到更低的第二压强。替代地或附加地,在时间 $t_3$ 与 $t_4$ 之间的去除操作期间,室压强也可增加或减少。

[0082] 在图5C中,第一物质和第二物质协流或同时流到晶片上以进行基本上所有的蚀刻。由于气体输送系统的设计、实施、公差和操作方面的缺陷,这些气体可能旨在完全相同的时间协流,但实际上可能并不准确。在图5C中,第一物质和第二物质从时间 $t_1$ 到 $t_2$ 协流到晶片上,之后它们都停止。在一些实现方案中,第一物质和第二物质可以与流到晶片上的可选载气一起处于相同的处理气体中。在一些其他实现方案中,第一物质可以是第一处理气体的一部分并且第二物质可以是单独的第二处理气体的一部分,如上所述,并且这些第一处理气体和第二处理气体两者在时间 $t_1$ 到时间 $t_2$ 协流到晶片上。

[0083] 在一些实现方案中,将第一物质和第二物质保持分开直到它们进入处理室可能是有利的。这可以避免第一物质和第二物质之间的交叉反应。因此,第一物质和第二物质可以在单独的管线中流动并通过单独的端口进入处理室,例如通过双增压室喷头或通过单独的喷嘴。这可以允许两种化学物质仅在晶片表面上相遇。

[0084] 在一些实施方案中,在图5C和图4所示的蚀刻期间可以调整晶片的温度。例如,晶片可以在时间 $t_1$ 和 $t_a$ 之间保持第一温度,在时间 $t_a$ 调整到第二温度并保持在第二温度直到时间 $t_2$ 。在一些这样的实现方案中,在整个蚀刻处理中可以将温度调节至第三温度或其他温度。在一些实施方案中,这可以被认为是温度上升或下降序列,例如,第二温度大于或小于第一温度,并且当适用时,第三温度大于或小于第二温度。这些温度可以是上文提供的任何温度。在一些其他实施方案中,在图5C的蚀刻期间晶片可以保持在基本恒定的温度。

[0085] 替代地或附加地,可以在图5C的蚀刻期间调节室压强。例如,室可以在时间 $t_1$ 和 $t_2$ 之间维持在第一压强,在时间 $t_2$ 调节到第二压强并且维持在该第二压强直到时间 $t_3$ 。在一些实施方案中,这可以被认为是第二压强大于或小于第一压强的压强上升或下降顺序。这些压强可以是本文上面提供的那些压强中的任何压强。在一些其他实施方案中,压强在图5C的蚀刻期间可以基本上恒定。

[0086] 图6进一步示出了具有重叠流程的改性和去除操作,图6描绘了根据所公开的实施

方案的蚀刻的示例性示意图。图602a对应于上面的图302a,其中提供了晶片并且其具有一层或多层硫族化物层,其中每个硫族化物分子表示为无阴影圆圈。硫族化物的顶层可以被认为是表面层606。在602b中,将第一物质,即改性分子608(实心黑色圆圈,其中一些用标识符608标识),和第二物质,即去除分子614,同时引入到处理室中;这可以代表上面例如关于图4、5B和5C描述的协流或同时流。

[0087] 此处,一些改性分子608被吸附到表面层606的硫族化物分子604上以产生包括改性分子612的改性表面层610(在602b中的虚线椭圆内部识别出一个改性分子612。如上所述,改性分子608可以包括氟,例如氟化氢,或氯,例如氯化氢。去除分子614也协流到晶片上,并且第二物质可以包括如上所述的具有中心原子铝、硼、硅或锗且具有至少一个氯原子的化合物。这些去除分子614与改性分子612反应并且导致硫族化物从晶片解吸,并因此从晶片去除。在一些实施方案中,第一物质和第二物质可以经由单独的气体管线和/或单独的端口(例如,同一喷头内的单独的注射喷嘴或端口)单独地流入处理室中。

[0088] 在一些实施方案中,当第一物质和第二物质(例如,改性分子和去除分子)流到晶片上时,硫族化物的附加层可以被蚀刻。例如,图602b示出了硫族化物的第二层622可以被类似地改性以形成改性的分子612a,当暴露于去除分子614并与去除分子614反应时,该改性的分子612a也可以从晶片去除。

[0089] 图602b可以被认为第一物质和第二物质同时流到晶片上期间的蚀刻的图示。如上面参考图5B所描述的,一些改性可以发生在该图602b之前,其可以由图302b表示。另外,在像图5B中那样的一些情况下,在图602b的该协流之后,可以发生附加去除而无需任何同时改性;这可以由图302d表示。在一些这样的实施方案中,图5B的蚀刻可以通过图302b、602b和302d的序列来示出。

[0090] 返回参考图4,框405A和405B一起执行一段时间可以被认为是单个ALE周期。在一些实现方案中,框405A和405B可以停止然后重复以便执行多个循环并去除硫族化物的多个层。这可以包括进行例如约1至1,000个循环、约1至约500个循环、约1至约100个循环、约1至约30个循环、或约1至约20个循环。可以包括任何合适数量的ALE循环以蚀刻期望量的硫族化物膜。在一些实施方案中,周期性地执行ALE以蚀刻晶片上的层约1埃( $\text{\AA}$ )至约50 $\text{\AA}$ 的表面。在一些实施方案中,ALE循环蚀刻晶片上的层约2 $\text{\AA}$ 至约50 $\text{\AA}$ 的表面。在一些实施方案中,每个ALE循环可以蚀刻至少约0.1 $\text{\AA}$ 、0.5 $\text{\AA}$ 、1 $\text{\AA}$ 、2 $\text{\AA}$ 或3 $\text{\AA}$ 。

[0091] 在这里提供的一些实施方案中,第一处理气体的流速可以保持恒定,并且第二处理气体的流速可以保持恒定。在一些其他实施方案中,第一处理气体和第二处理气体可以以相同或不同的流速流动。在一些其他实施方案中,改变第一和/或第二处理气体的流速可能是有利的。这可以包括例如在去除操作期间增加第二处理气体流速,以便随着去除操作的进行提供更多的去除分子。一些示例流速可包括约50sccm至1000sccm之间。

[0092] 如上所述,本文提供的热蚀刻可以用于各种目的。在一些实现方案中,在已经使用RIE蚀刻或其他离子辅助蚀刻来蚀刻硫族化物之后,热蚀刻可以用于硫族化物的清洁操作。另外或替代地,一些实现方案可以执行热蚀刻以蚀刻主体硫族化物。在一些这样的情况下,可以使用热蚀刻来代替RIE蚀刻或其他离子辅助蚀刻。

[0093] 现在将讨论在硫族化物上执行另一蚀刻处理(例如RIE或其他离子辅助蚀刻)之后

用作清洁操作的热蚀刻的方面。图7描绘了蚀刻硫族化物的示例性处理流程。在该示例中，图728a示出了硫族化物732可以作为一个或多个主体层沉积在晶片734上，并且硬掩模730可以沉积在硫族化物732上。可以执行蚀刻处理，例如RIE蚀刻或其他等离子体辅助蚀刻，其去除一些主体层（例如，延伸超出硬掩模730并用731标识的区域）并形成硫族化物的期望几何形状。这里在图728b中，硫族化物732被蚀刻成柱。然而，如上所述，这种RIE或等离子体辅助可能会对硫族化物造成不期望的损害，和/或暴露的硫族化物732可能被氧化，并且这些影响用受损和/或氧化的侧壁733来说明。

[0094] 如上所述，在该RIE或其他离子辅助蚀刻之后，可以在硫族化物上执行利用热蚀刻（例如热ALE）的清洁操作。图728c示出了在执行热蚀刻清洁操作之后的硫族化物732。如图所示，硫族化物732的至少一部分受损和/或氧化的侧壁733已被去除；这由具有直侧壁733的硫族化物732表示，其宽度735B比图728b中的宽度735B窄。在使用热ALE的一些实现方案中，去除的硫族化物732的量可以在逐周期的基础上进行控制，并且因此可以在单层或亚单层水平上去除硫族化物。因此，可以对硫族化物732执行一个或多个热ALE循环，以便去除期望量的硫族化物。在一些实施方案中，可以通过热蚀刻去除硫族化物的仅一些受损和/或氧化部分，因为一些处理可能具有可以保留在晶片上的可接受量的受损和/或氧化硫族化物。这可以通过在晶片上执行更少的蚀刻来提高产量，从而减少晶片的处理时间。在一些其他实现方案中，可以去除硫族化物的基本上所有受损和/或氧化部分，并且在一些情况下，可以去除主体硫族化物的附加层。

[0095] 一些实现方案还可以包括在硫族化物上执行热蚀刻之后沉积材料的封装层。在一些实施方案中，如图7的图728d中所示，在已经执行热蚀刻清洁操作之后，材料736的封装层可以沉积在硫族化物732和掩模730上。可以使用各种技术来沉积封装材料，例如化学气相沉积（“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”）和保形膜沉积（“CFD”）。一些CVD处理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来在晶片表面上沉积膜。前体被输送到晶片表面，在这里它们被晶片吸附、扩散到晶片中，并通过化学反应（包括通过在PECVD中产生等离子体）沉积在晶片上。其他一些沉积处理涉及多个膜沉积循环，每个循环产生“离散”膜厚度。ALD是一种这样的膜沉积方法，但任何沉积薄膜层并以重复顺序使用的技术都可以被视为涉及多个沉积循环。

[0096] 随着半导体行业中设备和特征尺寸的不断缩小，以及3D设备结构在集成电路（IC）设计中变得越来越普遍，沉积保形膜（相对于底层结构的形状具有均匀厚度的材料膜，即使是非平面的）继续变得越来越重要。ALD是一种非常适合沉积保形膜的成膜技术，因为ALD的单个循环仅沉积单个薄层材料，其厚度受到一种或多种薄膜前体反应物的量的限制它可以在成膜化学反应本身之前吸附到衬底表面上（即形成吸附限制层）。然后可以使用多个“ALD循环”来构建所需厚度的膜，并且由于每层都很薄且保形，因此所得膜基本上符合下伏的设备结构的形状。在某些实施方案中，每个ALD循环包括以下步骤：(1) 将衬底表面暴露于第一前体，(2) 清扫衬底所在的反应室，激活衬底表面的反应，通常使用等离子体和/或第二前体，以及对衬底所在的反应室进行清扫。

[0097] 通过热ALD沉积薄膜可以包括：将衬底加热到升高的温度，将衬底暴露于前体以吸附到衬底的表面上，以及将衬底暴露于一种或多种气体反应物以驱动一种或多种气体反应

物与前体之间发生表面反应,从而通过热ALD形成薄膜。具体地,通过热ALD沉积第一氧化硅层包括:将衬底加热至升高的温度,将衬底暴露于含硅前体以吸附到衬底的表面上,以及将衬底暴露于含氧反应物以驱动含氧反应物与含硅前体之间的反应,从而通过热ALD形成第一氧化硅层。

[0098] 每个ALD循环的持续时间通常可以小于25秒或小于10秒或小于5秒。ALD循环的等离子体暴露步骤(或多个步骤)可以具有短持续时间,例如1秒或更短的持续时间。等离子体可以具有比1秒长的其他持续时间,例如2秒、5秒或10秒。

[0099] 图8描绘了用于通过ALD处理在衬底上形成材料膜的示例性操作序列的流程图。从图8中可以看出,上面的项目1对应于框858,上面的项目2对应于框860,上面的项目3对应于框862,并且上面的项目4对应于框864;这四个框执行N个周期,之后该处理停止。

[0100] 在一些情况下,封装材料可以包括硅,例如氮化硅或氧化硅。在一些实现方案中,含硅前体包括硅烷,例如氨基硅烷。氨基硅烷包含至少一个与硅原子键合的氮原子,但也可包含氢、氧、卤素和碳。氨基硅烷的示例可包括双(叔丁基氨基)硅烷(BTBAS)、N-(二乙基氨基甲硅烷基)-N-乙基乙胺(SAM-24)、三(二甲基氨基)硅烷(3DMAS)和四(二甲基氨基)硅烷(4DMAS)。在一些实施方案中,可以沉积其他材料用于封装层。例如,本文描述的封装层可以包括IV族元素氮化物或碳化物,其中任何一种可以是掺杂的(例如用氧)或未掺杂的。在各种实施方案中,封装层可以是任何以下化学物质或其任何组合:氮化硅(SiN)、碳化硅(SiC)、掺氧碳化硅(SiCO)、氮化锗(GeN)、碳化锗(GeC)和掺氧碳化锗(GeCO)。

[0101] 在一些实现方案中,图8的操作862可包括使反应物流动,例如含氧反应物可包括氧化剂气体,例如氧气(O<sub>2</sub>)、臭氧(O<sub>3</sub>)、过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)、水(H<sub>2</sub>O)或其组合。在一些实现方案中,将衬底暴露于含氧反应物包括使氢气和氧气流至衬底以在等离子体处理室内原位反应从而引起放热反应。在一些实现方案中,据信水可以通过氢和氧之间的反应原位形成。水蒸气可以不作为起始反应物流入等离子体处理室,但可以或可以不在等离子体处理室内原位形成。如本文所使用的,流动的“氢”是指流动分子氢并且流动的“氧”是指流动分子氧。氢气和氧气可以同时流向等离子体处理室中的衬底。涉及氢气和氧气的放热反应可以释放在于驱动与吸附的含硅前体的表面反应的能量,以形成第一氧化硅层。

[0102] 在图8的ALD循环期间,晶片可以暴露于含氧反应物并暴露于升高的温度持续合适的持续时间,例如在操作862的热氧化期间。操作862的持续时间可以为约0.1秒至约6秒、约0.2秒至约4秒、或约0.5秒至约3秒。衬底可以在升高的温度下操作,同时将衬底暴露于含氧反应物。在一些实施方案中,升高的温度可以在约150°C与约750°C之间、在约150°C与约500°C之间、在约500°C与约650°C之间、或在约550°C与约650°C之间。在图8的这些操作中的一者或多者期间,衬底可暴露于增加的室压强,例如等于或大于约7Torr、等于或大于约10Torr、等于或大于约12Torr、或约10Torr至约20Torr之间。

[0103] 在使用等离子体与吸附的前体反应的一些ALD处理中,等离子体处理室中的室压强可以相对较低并且在约10mTorr与约200mTorr之间,或者可以相对较高并且在约1Torr与约7Torr之间。将RF场施加到等离子体处理室以产生含氧反应物的离子和自由基。在各种实现方案中,用于产生等离子体的RF频率可以是至少约13.56MHz、至少约27MHz、至少约40MHz或至少约60MHz,但是也可以使用其他频率。在一些实现方案中,RF功率可以是几百瓦,例如约500W或更小、约400W或更小、或约300W或更小,但是应当理解,可以根据衬底区域应用其

他RF功率。在一些实现方案中,等离子体暴露阶段的持续时间可以在约0.1秒与约120秒之间或在约1秒与约60秒之间。

[0104] 现在将讨论可用于RIE蚀刻或其他离子辅助蚀刻之后的清洁操作以及用于蚀刻主体硫族化物材料的硫族化物的附加蚀刻技术。图9描绘了根据所公开的实施方案的用于执行操作的第三示例性处理流程图。框901、903和905分别与上述图1的框101、103和105相同。框901至905的操作可以在RIE蚀刻或其他离子辅助蚀刻之后执行,并且代替RIE或其他离子辅助蚀刻来蚀刻一层或多层体硫族化物材料。应当理解,框905的蚀刻可以以本文提供的任何方式执行,包括如图2所示的两种方式,其中单独的改性和去除操作与清扫操作分开。框905的蚀刻还可以代表上面提供的通过热蚀刻的清洁操作。这里,在图9中,在对晶片执行热蚀刻之后,在框911中将封装材料沉积在晶片上。该封装可以以本文提供的任何方式执行,包括通过ALD,并且材料可以包括硅,例如氮化硅或氧化硅。

[0105] 在一些实现方案中,包括热蚀刻和热ALE的蚀刻操作可以在一个或多个蚀刻室中执行,而封装沉积在另一处理室中执行,例如被配置为在晶片上沉积材料的沉积室。因此,如图9中的可选框913所示,可以将晶片从一个或多个蚀刻室转移到沉积处理室。在一些实现方案中,可以在室之间转移晶片,同时晶片和室(包括转移室)保持在真空或低压下,例如,在约1mTorr和约10Torr之间,使得晶片在该转移期间不暴露于大气压强。

[0106] 例如,一个或多个蚀刻室和沉积室可维持在真空或其他低压,并且晶片可通过一个或多个传送室从一个或多个蚀刻室传送至沉积室,其中,也保持在真空或其他低压下。在此转移期间,晶片和蚀刻的硫族化物不暴露于大气压强。以这种方式传送晶片有利地减少了被蚀刻的硫族化物暴露于空气、氧气或其他环境气体的时间,从而减少或防止了硫族化物的不期望的氧化;这种传送还通过消除在真空和大气压之间传送晶片时执行的抽气步骤和附加传送而有利地增加了处理晶片的产量。

[0107] 图10进一步解释了传送晶片,图10描绘了根据所公开的实施方案的第一示例性处理装置。下面将更详细地讨论工具1000的附加特征,并且这里关于所描述的技术中的一些来讨论各种特征。工具1000包括第一处理室1002、第二处理室1004和第三处理室1006。在一些实现方案中,第一处理室1002被配置成在晶片上执行蚀刻操作,包括主体硫族化物的蚀刻,例如RIE或其他离子辅助蚀刻,并且第二处理室1004被配置为执行热蚀刻,包括热ALE。第二处理室1004还包括多个处理站,四个站1080A-D,每个处理站可以处理处理晶片。第一处理室1002和第二处理室1004可以被认为是蚀刻室。第三处理室1006被配置为在晶片上执行沉积并且可以被认为是沉积室。第三处理室1006还包括多个处理站,四个站1082A-D,每个处理站可以处理处理晶片。第二处理室1004和第三处理室1006可以被认为是多站处理室。

[0108] 工具1000还包括晶片传送单元,其被配置为在工具1000内传送一个或多个晶片。例如,在晶片已在第一处理室1002中被蚀刻之后,晶片传送单元能够将晶片从第一处理室1002传送到第二处理室1004,其中可以在一个或多个晶片上执行本文描述的热蚀刻。在第二处理室1004中进行热蚀刻之后,晶片传送单元可以将一个或多个晶片从第二处理室1004传送到第三处理室1006,在第三处理室1006中可以在一个或多个晶片上沉积一层或多层封装材料。

[0109] 在图10所示的图示中,晶片传送单元包括第一晶片传送模块1010中的第一机械臂

单元1008和第二晶片传送模块1014中的第二机械臂单元1012。第一机械臂单元1008被配置为在第一处理室1002和第二机械臂单元1012之间传送晶片,并且第二机械臂单元1012被配置为在第一机械臂单元1008、第二处理室1004和第三机械臂单元1006之间传送晶片。在一种实现方案中,每个机械臂单元1008和1012可以具有一个臂,并且在另一种实现方案中,它们可以各自具有两个臂,其中每个臂具有末端执行器1224以拾取用于运输的衬底。大气传送模块(ATM) 1022(例如设备前端模块(EFEM))中的前端机械手1020可用于将衬底从盒或前开口统一盒(FOUP) 1024传送到气锁室1018。

[0110] 第一晶片传送模块和第二晶片传送模块均可以是真空传送模块(VTM)。示出了气锁室1018,也称为装载锁或传送模块,并且可以单独优化该气锁室1018以执行各种制造处理。工具1000还包括压强单元1016,压强单元1016被配置成将工具1000的压强降低至真空或低压,例如约1mTorr至约10Torr之间,并将工具1000维持在该压强。这包括将第一、第二和第三处理室1002-1006、第一晶片传送模块1010和第二晶片传送模块1012维持在真空或低压。

[0111] 当晶片在整个工具中传输时,它能够处于保持真空或低压的环境内。例如,当晶片从第一处理室1002传送到第一晶片传送模块1010、到第二晶片传送模块1014、到第二处理室1004时,晶片暴露于并保持在真空或低气压,因此不暴露于大气压强。类似地,当晶片从第二处理室1004传送到第二晶片传送模块1014并传送到第三处理室1006时,晶片保持在真空或低压并且不暴露于大气压强。

[0112] 在又一示例中,衬底被放置在FOUP 1024之一中并且前端机械手1020将衬底从FOUP 1024转移到对准器,这允许衬底在被蚀刻之前被正确地居中,或者沉积或以其他方式处理。对齐后,衬底由前端机械手1020移动到气锁室1018中。由于气锁室模块具有匹配ATM和VTM之间的环境的能力,因此衬底能够在两个压强环境之间移动而无需被损坏的。第一机械臂单元1008将衬底从气锁室模块1018移动通过第一晶片传送模块1010或VTM 1010,并进入第一处理室1002。为了实现该衬底移动,第一机械臂单元1008在每只手臂上都使用了末端执行器。

[0113] 在使用图10的工具1000的一些实现方案中,蚀刻操作可以在多于一个的处理室中进行。例如,蚀刻操作可以在处理室1002中执行,例如RIE或其他离子辅助蚀刻,而热蚀刻(例如热ALE)可以在不同的处理室(例如第二处理室1004)中执行。两个不同的蚀刻处理室可以使得能够在晶片上使用不同的蚀刻技术。例如,主体硫族化物的蚀刻可以在第一处理室1002中进行,并且热蚀刻清洁操作可以在第二处理室1004中进行。

[0114] 在一些实施方案中,可以使用热蚀刻来蚀刻主体硫族化物,而非使用RIE蚀刻或其他离子辅助蚀刻来去除硫族化物。用于主体硫族化物的热蚀刻的技术可以与上面提供的相同,如图1-6、8和9所示,除了清洁操作可能是不必要的,因为不执行RIE或离子辅助蚀刻。例如,返回参考图9,框901可以包括将晶片提供给配置用于热蚀刻(诸如热ALE)的处理室。然后可以执行框903和905以便蚀刻主体硫族化物,这可以包括执行如上所述和图1-6中所示的多个热ALE循环。在框905的热蚀刻之后,在框913中,可以将晶片传送到沉积室,在框911中,在其上沉积封装材料。

[0115] 为了蚀刻主体硫族化物以及蚀刻一些受损和/或氧化的硫族化物,本文提供的一些热蚀刻可以包括蚀刻多个层,例如同时蚀刻多个硫族化物层。这可能包括位于材料堆叠

件内的多层硫族化物。例如,晶片可以具有多个沟槽、孔或通孔,每个沟槽、孔或通孔具有多层材料和不同几何形状的侧壁。为了形成各种设备,可以将硫族化物材料沉积到这些沟槽、孔或通孔中,并且利用本文描述的热蚀刻的各向同性性质,可以在各种结构内蚀刻硫族化物材料。

[0116] 图11示出了蚀刻多层硫族化物材料,其描绘了蚀刻硫族化物层的又一示例性处理流程。这里,示出了晶片1134的一个特征1152的部分截面图,并且该特征可以是例如沟槽、孔或通孔。特征1152的每个侧壁1150A和1150B包括多种材料,例如金属1154(用交叉阴影线示出)和电介质1156。硫族化物材料层1158(用阴影示出)沉积在特征1152内以及侧壁1150A和1150B的材料1154和1156的表面上。

[0117] 可以执行主体硫族化物材料1158的热蚀刻,以便去除硫族化物材料1158的多层,其包括同时蚀刻该硫族化物材料1158的多层。因为热蚀刻是各向同性且非定向的,所以硫族化物材料1158的热蚀刻能够在特征1152的每个区域、突出部分、凹陷和其他几何区域内进行蚀刻。在图1128a中,热蚀刻可以去除特征1152的间隙1164内的多层硫族化物1158,特征可以包括块状的单片硫族化物1158层。一旦硫族化物1158已经从间隙1164去除,硫族化物就可以作为材料的离散的、单独的部分存在于特征的几个区域内。例如,在图1128a中,被包围在虚线正方形内的区域1160A、1160B和1160C在其中具有硫族化物1158的离散部分;定向蚀刻,例如RIE蚀刻,无法蚀刻这些区域内的硫族化物。然而,热蚀刻技术能够同时到达并蚀刻这些区域中的硫族化物1158的每一层。在图1128b中,硫族化物1158已在每个区域中被回蚀,包括同时蚀刻多个层。在一些情况下,每个区域中的硫族化物1158的每个部分可以被认为是硫族化物1158的层。

[0118] 与上文类似,在蚀刻了硫族化物材料1158之后,如图1128c所示,利用ALD在其上沉积封装材料1162(以深色阴影示出)。因为ALD是保形沉积,所以封装材料1162能够沉积在特征1152中的各种几何形状上。

[0119] 可以使用各种装置来进行主体硫族化物的热蚀刻。例如,在图10的工具1000中,第二处理室1004可以用于该热蚀刻,并且第三处理室1006可以用于沉积封装材料。在另一示例中,可以使用具有两个处理室的装置。图12描绘了根据公开的实施方案的第二示例性处理装置。工具1200包括第一处理室1202和第二处理室1204。该工具1200不包括图10的第一处理室1000。第一处理室1202包括多个处理站,四个站1280A-D,每个站可以处理晶片。第一处理室1202被配置为在晶片上执行热蚀刻操作,包括主体硫族化物材料的热蚀刻,例如热ALE。第二处理室1204被配置为在晶片上执行沉积并且可以被认为是沉积室。第二处理室1204还包括多个处理站,四个站1282A-D,每个处理站可以处理晶片。第一处理室1202和第二处理室1204可以被认为是多站处理室。在一些实施方案中,处理室1202和1204可以与图10的处理室1004和1006相同。

[0120] 工具1200还包括晶片传送单元,其被配置为在工具1200内传送一个或多个晶片。下面将更详细地讨论工具1200的附加特征,并且这里关于所描述的技术中的一些来讨论各种特征。在所描绘的图示中,晶片传送单元包括第一晶片传送模块1210中的第一机械臂单元1208和第二晶片传送模块1214中的第二机械臂单元1212,第二晶片传送模块1214可以被认为是被配置为接收晶片的容器(例如前开口统一模块(FOUP) 1216)的设备前端模块(EFEM)。第一机械臂单元1208被配置为在第一处理室1202和第二处理室1204之间、以及在

第二机械臂单元1212之间传送晶片。第二机械臂单元1212被配置成在FOUP和第一机械臂单元1208之间传送晶片。在第一处理室1202中使用诸如热ALE的热蚀刻来蚀刻晶片之后,晶片传送单元能够将晶片从第一处理室1202传送到第二处理室1204,在第二处理室1204中可以将一层或多层封装材料沉积在一个或多个晶片上。

[0121] 与上文类似,第一传送模块1210可以是真空传送模块(VTM)。示出了气锁室1220,也称为装载锁室或传送模块,并且可以单独优化该气锁室1220以执行各种制造处理。工具1200还包括压强单元1216,压强单元1216被配置为将工具1200的压强降低至真空或低压,例如约1mTorr与约10Torr之间,并将工具1200维持在该压强。这包括将第一处理室1202和第二处理室1204以及第一晶片传送模块1210维持在真空或低压。第二晶片传送模块1214可以处于不同的压强下,例如大气压。当晶片被传送通过工具1200时,其因此被维持在真空或低压。例如,当晶片从第一处理室1202传送到第一晶片传送模块1210中并传送到第二处理室1204时,晶片保持在真空或低压并且不暴露于大气压强。

[0122] 在又一示例中,衬底被放置在FOUP 1218之一中,并且第二机械臂单元1212或前端机械手将衬底从FOUP 1218传送到对准器,这允许衬底在蚀刻、沉积或以其他方式处理之前,被正确地定位居中。对齐后,衬底由前端机械手1212移动到气锁室1220中。由于气锁室模块具有匹配ATM和VTM之间的环境的能力,因此衬底能够在两个压强环境之间移动而无需被损坏。第一机械臂单元1208将衬底从气闸模块1220移动通过第一晶片传送模块1210或VTM 1210,并进入第一处理室1202。为了实现该衬底移动,第一机械臂单元1208在每个手臂上都使用了末端执行器。

[0123] 封装材料的沉积可以以不同的方式进行,现在描述其中的一些方式。例如,返回参考图9,当晶片位于沉积室(诸如工具1000的第三处理室1006或工具1200的第二处理室1204)中时,封装材料可以按框911沉积在晶片上。在一些实现方案中,在沉积该封装材料之前,可以在晶片处于热蚀刻室(例如工具1000的第二处理室1004或工具1200的第一处理室1202)中时将另一种封装材料沉积在晶片上。

[0124] 图13描绘了根据所公开的实施方案的另一种技术。这里,框1301、1303和1305与图9中的框901、903和905以及图1中的框101、103和105相同。应当理解,可以以本文提供的任何方式执行框1305的蚀刻,包括如图2所示的两种,其中具有与清扫操作分开的单独的改性和去除操作。框1305的蚀刻还可以代表上面提供的通过热蚀刻的清洁操作。

[0125] 在框1315中,在热蚀刻之后并且当晶片保留在蚀刻室中时,第一封装材料被沉积在晶片上。该沉积可以使用在蚀刻中使用的第一或第二化学物质之一以及一种或多种附加成分,以便沉积第一封装材料。在一些实现方案中,至少一些处理条件可以保持与蚀刻中使用的那些相同,例如晶片的温度或处理室中的压强。一些实现方案可以沉积包括铝的第一封装材料,其可以为下面的硫族化物(例如GST)提供良好的保护。第一封装材料例如包括氧化铝或氟化铝。

[0126] 在一个示例中,操作1305的蚀刻可以包括第二化学物质,其包括DMAC。操作1315中的沉积可以使具有DMAC的第二化学物质流动,并且使第三化学物质(例如水蒸气)流到晶片上以沉积氧化铝。水蒸气和处理条件导致DMAC转化为氧化铝,并进一步导致氧化铝通过ALD沉积到晶片上。在另一示例中,第二物质可以具有TMA,其与第三化学物质(例如水蒸气)一起流到晶片上以沉积氧化铝。水蒸气再次将TMA转化为氧化铝,并通过ALD沉积到晶片上。沉

积的活化能由晶片和处理室的热能提供,而不是由等离子体提供。使用热能而非等离子体的ALD沉积可被视为热ALD。因此,框1315的一些实现方案使用热ALD来沉积第一封装材料。

[0127] 在执行蚀刻的室中沉积第一封装材料之后,可以执行框1313和1311以将晶片传送到沉积处理室并在其中执行进一步的沉积。

[0128] 在一些实施方案中,可以在晶片上蚀刻两种不同的硫族化物。图14描绘了根据所公开的实施方案的又一种技术。在框1401中,提供给处理室的晶片具有两种不同的硫族化物,并且一旦进入室中,晶片就在框1403中被加热到第一温度,如上文关于图1的框103所述。在框1405中,第一硫族化物如本文所述蚀刻,包括通过用具有氟化物或氯化物的第一化学物质改性第一硫族化物的表面,从而产生氟化硫族化物或氯化硫族化物的第一层,以及用第二化学物质(其含有具有中心原子铝、硼、硅或锗且具有至少一个氯原子的化合物)去除氟化硫族化物或氯化硫族化物的第一层。应当理解,框1405的蚀刻可以以本文提供的任何方式来执行,包括如图2所示的两种方式,其中单独的改性和去除操作与清扫操作分开,以及利用多个去除循环。框1405的蚀刻还可以代表上面提供的通过热蚀刻的清洁操作。

[0129] 在框1405的蚀刻之后,在框1407中将晶片从处理室转移到沉积室。该转移可以与如上所述的相同,例如关于图9的框913并且在图10中示出。一旦进入沉积室,在框1409中,当晶片位于沉积室中时,将第一封装材料沉积到晶片上,类似于上面描述的,例如关于图9的框911。

[0130] 在这一沉积之后,可以将晶片传送回处理室以进行进一步蚀刻,如框1411中所提供的。在一些其他实施方案中,可以将晶片传送到一个或多个其他处理室以进行不同的处理,之后可以将晶片转移至处理室进行蚀刻。一旦进入处理室或蚀刻室,在框1413中,类似于框1403,将晶片加热至第一温度,并且如框1415中所提供的,蚀刻第二层硫族化物。在一些实施方案中,可以执行其他RIE或其他离子辅助蚀刻,并且框1415中的蚀刻可以是清洁操作,而在其他实施方案中,蚀刻可以是蚀刻主体硫族化物材料。

[0131] 框1415的蚀刻包括用具有氟化物或氯化物的第一化学物质改性第二硫族化物的表面,从而产生氟化硫族化物或氯化硫族化物的第一层,以及用第二化学物质去除氟化硫族化物或氯化硫族化物的第二层,第二化学物质含有具有中心原子铝、硼、硅或锗且具有至少一个氯原子的化合物。应当理解,框1415的蚀刻可以以本文提供的任何方式执行,包括如图2所示的两种方式,其中单独的改性和去除操作与清扫操作分开,以及与多个去除循环分开。框1415的蚀刻还可以代表上面提供的通过热蚀刻的清洁操作。

[0132] 在一些实施方案中,第一温度、第一化学物质和第二化学物质可以用于蚀刻第一硫族化物材料和第二硫族化物材料两者。在一些其他实施方案中,这些项目中的一个或多个对于蚀刻第一硫族化物和第二硫族化物可以是不同的。例如,用于蚀刻第一硫族化物的第一物质可以包括氟,而用于蚀刻第二硫族化物的第一物质可以包括氯。在另一示例中,用于蚀刻第一硫族化物的第二物质可以包括DMAC,而用于蚀刻第二硫族化物的第二物质可以包括TMA。

[0133] 在框1415之后,在框1417中,可以再次将晶片从处理室转移到沉积室,以在框1419中将第二封装材料再次沉积到晶片上。封装沉积可以与本文所提供的相同。在一些实施方案中,沉积到第一硫族化物和第二硫族化物上的封装材料可以相同,而在其他实施方案中它们可以不同。

[0134] 图14的技术通过图15进一步说明,图15描绘了蚀刻两种硫族化物的示例性处理流程。在该示例中,图1528a包括具有材料堆叠的晶片1534,该材料堆叠包括沉积在第一硫族化物1532上的硬掩模1530,该硬掩模1530沉积在可以是另一掩模的另一材料层1538上,随后是第二硫族化物1540。该图1528a和图15是本文概念的说明,并不旨在包括材料堆叠的所有层。图1528a可以对应于图14的框1401。在图1528b中,第一硫族化物1532已经被蚀刻并且该图可以对应于图14的框1403和1405。蚀刻还被示出为位于图1528a和1528b之间的第一硫族化物材料1532宽度1535A的减少,其中宽度1535B较小。在第一硫族化物材料1532的蚀刻之后,第一封装材料层1536沉积在硬掩模1530和第一硫族化物1532上,如关于框1409所述。

[0135] 在沉积该第一封装材料1536之后,可以执行另一个蚀刻处理,该蚀刻处理蚀刻第二硫族化物1540,如图1528d所示以及上面参考框1413和1415所述。该蚀刻还被示出为减少第二硫族化物材料1540的宽度1527A在图1528c和1528d之间,其中宽度1527B较小。然后,将第二封装层1542沉积在蚀刻的第二硫族化物材料1540上,并且在一些情况下,如图1528e所示,沉积在第一封装材料1536上。第二封装材料1442用具有点边界线的阴影来描绘。图1528e对应于图14的框1419。

[0136] 本文描述的技术和装置提供了许多益处和优点。例如,在RIE蚀刻或其他基于离子的蚀刻之后使用热蚀刻来执行清洁操作允许省略湿式清洁操作,这提供了许多好处。一些这样的好处包括不需要将晶片从真空环境转移到大气中进行湿法清洁,然后返回到真空环境,从而将晶片保持在真空下,防止或减少硫族化物的不需要的氧化,以及通过减少处理时间来提高晶片产量。此外,该设备不需要用于湿式清洁操作的液体输送系统,这减少了工具的占地面积,减少了系统的维护,并且由于不需要这样的系统和液体而降低了成本。额外的益处还包括减少或消除湿法清洁操作可能对硫族化物和晶片造成的损害,例如液体表面张力导致的结构塌陷,并且不需要表面改性反应物。

[0137] 本文提供的热技术还可以实现单层或亚单层规模的蚀刻,以去除精确量的硫族化物,并因此提供均匀的蚀刻。如上所述,因为这些热蚀刻技术是各向同性的,所以可以蚀刻复杂的几何形状,而不需要视线或定向蚀刻。

[0138] 本文提供的装置还通过能够处理处理晶片(包括在多站室中蚀刻和沉积封装材料)来降低复杂性并增加晶片产量。

#### 附加装置

[0139] 本公开包括上文和下文提供的装置。现在参照图16,示出了根据本公开的用于蚀刻材料的衬底处理室的示例。虽然示出并描述了特定的衬底处理室,但是本文描述的方法可以在其他类型的衬底处理系统上实施。图16描绘了根据所公开实施方案的用于半导体处理(包括热原子层蚀刻)的示例性装置1620;该装置1620包括处理室1622、处理气体单元1624、衬底加热单元1626和衬底冷却单元1628。处理室1622具有至少部分地界定和限定室内部1632(其可以被视为充气室体积)的室壁1630。

[0140] 处理气体单元1624被配置为使处理气体流到室内部1632中的衬底1634上,处理气体可以包括液体和/或气体,例如反应物、改性分子、转化分子或去除分子。处理气体单元1624还包括被配置为使第一处理气体流到衬底1634上的一个或多个流动特征1642,例如孔、喷嘴(描绘了其中两个)或喷头。一个或多个流动特征1642可定位在室内部1632内的上方、下方、侧面或这些位置的组合上,例如处理室壁、顶部和底部上。处理气体单元1624可包

括混合容器,用于混合和/或调节处理气体以输送至室内部1632。一个或多个混合容器入口阀可控制处理气体向混合容器的引入。

[0141] 处理气体单元1624可包括第一处理气体源1636、第一处理液体源1638、可将第一液体蒸发成气体的蒸发点(未描绘)、以及载气源1640。一些反应物在汽化之前以及在输送到处理室1622之后可以以液体形式储存。在一些实施方案中,第一处理气体可以包括氯或氟,其被配置为在不使用等离子体的情况下改性衬底上的一个或多个材料层;第二处理气体可以包括具有中心原子铝、硼、硅或锗并且具有至少一个氯原子的化合物,在如上所述的第二处理室中将其喷射到晶片上。

[0142] 在一些实现方案中,汽化点可以是加热液体注入模块。在一些其他实现方案中,汽化点可以是加热的汽化器。在一些其他实施方案中,可以通过在含有液体试剂的容器上方抽真空来产生蒸气。在又一些实现方案中,可以从处理站消除汽化点。在一些实现方案中,可以提供汽化点上游的液体流量控制器(LFC),用于控制用于汽化和输送到室内部1632的液体的质量流量。载气源1640包括一种或多种载气或液体,其可以与处理气体一起流动;这些可以是惰性气体,如 $N_2$ 、Ar、Ne、He。装置1620还可以包括真空泵1633,真空泵1633被配置为将室内部抽吸至低压,例如具有1mTorr或10Torr压强的真空。

[0143] 室内部1632包括衬底支撑特征1635,其被配置为支撑室中的衬底1634并使衬底1634热浮动。衬底支撑特征1635可以包括例如夹具、水平销或支撑件、竖直销或支撑件以及半圆环,其将衬底1634支撑在室内部1632中。这些特征被配置为支撑衬底1634,使得衬底1634的热质量被尽可能地减少到仅衬底的热质量。因此,每个衬底支撑特征1635可以与衬底1634具有最小的接触,并且可以是在处理期间充分支撑衬底所需的最小数量的特征(例如,为了支撑衬底的重量并防止衬底的非弹性变形)。例如,与衬底接触的一个衬底支撑部件1635的表面积可以小于衬底背面的总表面积的约1%、0.5%、0.1%、0.05%或0.01%;还可以利用例如2个、3个或4个特征。

[0144] 在一个示例中,支撑特征1635可以包括两个或更多个竖直销,这些竖直销具有沿着竖直纵向轴线卷绕或盘旋的凹槽并且以与纵向轴线不同的距离偏移并且被配置为支撑衬底。当竖直销沿着其纵向轴线旋转并且衬底的边缘定位在凹槽中时,凹槽的边缘以及因此衬底的边缘移动得更远离纵向轴线。当使用多个竖直销支撑衬底时,竖直销的旋转导致凹槽在垂直于纵向轴线的方向上向衬底施加支撑力。

[0145] 在一些实施方案中,室1622可以包括晶片支撑基座,该晶片支撑基座包括衬底升降销。在热ALE处理期间,升降销可以支撑并定位衬底远离基座,使得基座和衬底之间基本上不存在热能传递(例如,小于两者之间传输的能量的10%、5%、1%、0.5%、或0.1%)。在一些其他实施方案中,室1622可以不具有基座。在一些实施方案中,可以使用包含衬底加热单元1626的静电卡盘(ESC),该衬底加热单元1626被配置为将衬底加热到本文提供的温度,例如在约20°C和500°C之间。

[0146] 衬底加热单元1626被配置为将衬底加热到多个温度并且将这些温度保持例如至少1秒、5秒、10秒、30秒、1分钟、2分钟或3分钟。在一些实施方案中,衬底加热单元1626被配置成在至少两个温度范围之间加热衬底,其中第一范围在约20°C与150°C之间,第二范围在约200°C与600°C之间,以及被配置为将衬底保持在这些范围内的温度例如至少1秒、5秒或10秒。另外,在一些实施方案中,衬底加热单元1626被配置为在例如小于约250毫秒、150毫

秒、100毫秒或50毫秒内将衬底从第一温度范围加热至第二温度范围。

[0147] 衬底加热单元1626可以利用辐射加热、对流加热、激光加热、等离子体加热、固体到固体热传递(例如,将由加热的静电卡盘或基座中的一个或多个加热元件产生的热量传递到由该卡盘或基座支撑或支撑在该卡盘或基座上的衬底),或这些项目的组合。对于辐射加热,衬底加热单元1626可以用于发射光加热、紫外线加热、微波加热、射频加热和感应加热。例如,衬底加热单元1626可以包括发光二极管(LED),其发射具有可以包括并且范围在400纳米(nm)和800nm之间的波长的可见光。这还可以包括例如加热灯、发光二极管(例如LED)、陶瓷加热器、石英加热器或连接到光能源的多个梯度折射率(GRIN)透镜。GRIN透镜被配置为以均匀的方式将热能(热能或光)从光能源传递到衬底;光源可以是激光或高强度光源,其通过导管(例如光纤电缆)将热能传输至GRIN透镜。衬底加热单元1626所使用的加热元件可定位在衬底1634的上方、下方、侧面或这些位置的组合上,并且它们可定位在室内部1632的内部、外部或两者。图16中,衬底加热单元1626所使用的加热元件包括位于衬底1634上方和下方的多个LED 1626A;下部加热元件定位在室内部1632内部并且上部加热元件定位在室内部1632外部。在一些实施方案中,对于定位在室1622外部的一些加热元件,室1622可具有窗1654其允许辐射传输到室内部1632中并传输到衬底1634上。在一些实施方案中,该窗1654可以是光学级石英板,而在其他实施方案中,它可以是透明氧化铟锡(ITO)窗。在一些实施方案中,包括多个LED 1626A的衬底加热单元1626可以仅定位在衬底1634下方,衬底1634可以包括在基座或ESC内部,该基座或ESC还可以包括窗,由LED发射的光可以通过该窗到达背面的衬底。

[0148] 为了固体到固体的热传递,衬底加热单元1626可以具有一个或多个加热表面,其被配置为接触并加热室内部的衬底。在一些实施方案中,衬底加热单元1626可以具有加热板,例如平坦表面或衬底基座的表面,其被配置为接触衬底的后表面并加热衬底。该加热板可具有加热元件,例如上述加热线圈、加热流体或辐射加热,其可加热加热板的表面。当衬底的背面与加热板直接接触或偏离加热板但足够接近以从加热板接收热能时,可以加热衬底。当利用这种固体到固体的热传递来加热衬底时,衬底在冷却时与加热板分离。虽然一些传统的ALE装置可能具有包括加热元件和冷却元件的衬底基座,但这些装置无法在热ALE的温度之间快速(例如,在250毫秒内)循环,因为基座的热质量大,并且反复进行加热和冷却。例如,将基座从第一温度范围(例如,20°C至100°C)加热至第二温度范围(例如,200°C至500°C)可能需要数秒或数分钟,以及将基座从第二温度范围冷却至能够将衬底冷却至第一温度范围的较低温度。因此,在使用该固体对固体加热技术之后,加热板和衬底彼此分离,这可以例如通过将衬底和/或加热板移动远离彼此来实现。如果没有这种分离,衬底和加热板的热质量都会发生冷却,这增加了冷却时间,从而降低了衬底产量。在一些实施方案中,具有衬底加热单元和用于冷却的珀耳帖元件的ESC或基座可以实现快速加热和冷却时间(例如约30秒将衬底冷却至期望温度)。在一些实施方案中,这可以在低压下执行,例如小于1Torr,包括例如小于50mTorr。

[0149] 图16的衬底冷却单元1628被配置为主动冷却衬底。在一些实施方案中,衬底冷却单元1628使冷却气体流到衬底1634上,其主动地冷却衬底1634。衬底冷却单元1628可以包括冷却流体源1648,其可以包含冷却流体(气体或液体),以及冷却器1650,其被配置为将冷却流体冷却至期望温度,例如小于或等于0°C、-50°C、-100°C、-150°C、-170°C、-200°C,和-

250°C。衬底冷却单元1628包括管道和冷却剂流动特征1652,例如喷嘴或孔,其被配置为使冷却剂流体流入室内部1632中。在一些实施方案中,当流体流到冷却剂冷却单元1652时,流体可以处于液态,例如,如果室内部1632处于低压状态,例如1Torr,则当其到达室内部1632时,可以转变为蒸气状态。冷却流体可以是惰性元素,例如氮气、氩气、氦气。在一些实施方案中,进入室内部1632的冷却流体的流速可以是例如至少每秒10升、每秒50升、每秒100升、每秒150升、每秒200升、每秒250升、和每秒300升。

[0150] 多种因素可以增加冷却流体冷却衬底的能力。通过各种实验发现,冷却流体的流速越高,衬底冷却得越快。在一个示例性实验中,发现约-196°C的冷却气体以每秒1升的流速流到衬底上,以在约5,000毫秒内将衬底的温度从约220°C降低至约215°C,而同样的冷却气体,流速为每秒10升,在约5,000毫秒内将衬底的温度从约220°C降低至约195°C。还发现衬底和室顶部之间的间隙(图17中的1786)也可能影响衬底的冷却;间隙越小,冷却程度越高。在一种情况下,发现使用约-196°C的冷却气体在约5,000毫秒内将与室的顶部分开约50微米的间隙的衬底从约220°C冷却至约215°C,同时使用相同的冷却气体在约5,000毫秒内将与室的顶部分开约5毫米的间隙的衬底从约220°C冷却至约209°C。因此,发现流速越高且间隙越小,衬底冷却得越快。

[0151] 在一些实施方案中,衬底冷却单元1628可以使用固体到固体的热传递来主动冷却衬底1634。在这些实施方案的一些中,可以使用冷却板,例如平坦的冷却表面来接触衬底的底部并冷却衬底。该板可以通过使冷却流体在板上、通过板或在板下方流动而被冷却。当使用这种固体到固体冷却时,类似于上面讨论的固体到固体加热,在加热衬底期间将衬底与冷却板分离,例如通过将衬底移动远离冷却板,用于例如,用升降销将其升起。如果没有这种分离,衬底和冷却板的热质量都会被冷却,这需要更多的冷却,从而增加处理时间并降低产量。在一些实施方案中,衬底顶部的辐射加热或衬底底部的等离子体加热可以与固体到固体冷却结合使用。

[0152] 在一些实施方案中,衬底冷却单元1628可以使用激光冷却来冷却衬底。这可以使得能够通过利用逆纳维-斯托克斯(Navier-Stokes)反应来冷却至少在衬底的暴露表面上包括铯分子的衬底。例如,衬底的温度以声子的形式表现出来,激光冷却将光子发射到衬底表面,与铯中的声子相互作用并拾取声子,然后使来自铯的声子以更高的能级离开衬底。这些声子的去除导致衬底温度降低。可以将铯掺杂到衬底的表面上以便实现该激光冷却,并且该掺杂可以并入上面列出的技术中,例如在任何操作(例如去除操作)之后或之前发生。

[0153] 如上所述,该装置的一些实施方案可以包括配置成在室内部产生等离子体的等离子体源。这些等离子体源可以是电容耦合等离子体(CCP)、电感耦合等离子体(ICP)、上远程等离子体和下远程等离子体。

[0154] 在一些实施方案中,本文所述的装置可以包括配置成控制该装置的多个方面的控制器,以执行本文所述的技术。例如,在图16中,装置1620包括控制器1666(其可包括一个或更多物理或逻辑控制器),其与处理室的一些或全部操作通信连接并对其进行控制。系统控制器1666可以包括一个或更多存储器设备1668以及一个或更多处理器1670。在一些实施方案中,当执行所公开的实施方案时,该装置例如包括用于控制流速以及持续时间的切换系统、衬底加热单元、衬底冷却单元、衬底在室中的装载以及卸除、衬底的热浮、以及处理气体单元。在一些实施方案中,该装置可以具有高达约500ms或高达约1650ms的切换时间。切换

时间可能取决于流动化学、选择的配方、反应器架构以及其他因素。

[0155] 在一些实现方案中,控制器1666可以是装置或系统的一部分,并且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(气体流系统、衬底加热单元、衬底冷却单元等)。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。根据处理参数和/或系统类型,控制器1666可以被编程以控制本文公开的任何处理,包括处理气体的输送、温度设置(例如加热和/或冷却)、压强设置、真空设置、功率设置、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。

[0156] 从广义上讲,控制器1666可以被定义为电子器件,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处理的操作参数。在一些实施方案中,操作参数可以由处理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操作。

[0157] 在一些实现方案中,控制器1666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)主机系统的全部或一部分,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、设置处理操作以跟随当前的处理、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)向系统提供处理配方。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1666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处理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1666可以是例如通过包括联网在一起并朝着共同目的(例如本文所述的处理和控制)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处理。

[0158] 如上所述,根据将由装置执行的一个或多个处理操作,控制器1666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。

[0159] 还如上所述,控制器被配置为执行上述任何技术。例如,参考图16的装置1620和图

1的技术,在一些实施方案中,控制器1666被配置成使衬底加热单元1626将位于衬底支撑特征1635上的晶片1634带到(即,加热)到第一温度并导致第一处理气体单元1624使第一处理气体流至晶片1634。如上所述,第一处理气体被配置为通过化学吸附来改性晶片1634上的硫族化物的一个或多个表面层,而不在一些实施方案中使用等离子体,同时晶片保持在第一温度。如本文所述,控制器1666还可以被配置成使处理气体单元使第二处理气体流到晶片1634上,以去除硫族化物的改性层。如本文所述,一些实现方案包括控制器1666,其使得一层或多层封装材料沉积到晶片1634上。

[0160] 如上所述,本文执行的一些蚀刻可以是处理室的温度控制特征,例如其侧壁、顶部和/或底部,以及喷头和气体输送系统。图17描绘了根据所公开的实施方案的示例性装置的剖面侧视图。如下详述,该装置1700能够快速且精确地控制衬底的温度,包括执行热蚀刻操作。该装置1700包括处理室1702、具有衬底加热器1706以及配置成支撑衬底1718的多个衬底支撑件1708的基座1704、以及气体分布单元1710。

[0161] 处理室1702包括至少部分地定义室内部1714的侧壁1712A、顶部1712B及底部1712C,室内部1714可视为充气室容积。如本文所述,在一些实施方案中可能需要主动控制处理室壁1712A、顶部1712B及底部1712C的温度,以防止在其表面上出现不希望的凝结。一些新兴半导体处理操作使蒸汽(例如水和/或酒精蒸汽)流至衬底上,其吸附至衬底上,但也可能会不理想地吸附至室的内表面上。这会导致室内表面上发生不希望的沉积及蚀刻,其会损坏室表面并导致微粒剥落至衬底上,因而导致衬底缺陷。为了减少并防止室内表面上发生不希望的凝结,室壁、顶部及底部的温度可保持在使处理操作中所使用的化学物质不会发生凝结的温度。

[0162] 该室表面的主动温度控制可通过使用加热器以加热室壁1712A、顶部1712B及底部1712C来实现。如图17所示,室加热器1716A位于室壁1712A上并配置成对其加热,室加热器1716B位于顶部1712B上并配置成对其加热,室加热器1716C位于底部1712C上并配置成对其加热。室加热器1716A-1716C可以是电阻加热器,其被配置成当电流流过电阻元件时产生热。室加热器1716A-1716C也可以是流体管道,而热传递流体可流过流体管道,例如加热流体,其可包括加热后的水。在一些实例中,室加热器1716A-1716C可以是加热流体与电阻加热器两者的组合。室加热器1716A-1716C被配置成产生热以使每一室壁1712A、顶部1712B及底部1712C的内表面达到所需的温度,其范围可介于约40°C与约150°C之间,例如包括介于约80°C与约130°C之间、或约90°C、或约120°C。已发现,在一些条件下,水及醇蒸汽不会在保持于约90°C或更高温度的表面上凝结。

[0163] 室壁1712A、顶部1712B及底部1712C亦可由能够承受处理技术中所使用的化学物质的诸多材料构成。这些室材料可包括例如铝、阳极化铝、具有聚合物(例如塑料)的铝、具有氧化钇涂层的金属或金属合金、具有氧化锆涂层的金属或金属合金、以及具有氧化铝涂层的金属或金属合金;在一些实例中,涂层的材料可以是混合的或不同材料组合的层,例如氧化铝与氧化钇的交替层、或氧化铝与氧化锆的交替层。这些材料被配置以承受处理技术中所使用的化学物质,例如任何无水HF、水蒸汽、甲醇、异丙醇、氯、氟气、氮气、氢气、氦气及其混合物。

[0164] 该装置1700也可被配置成在真空或接近真空下执行处理操作,例如在约0.1Torr至约100Torr、或约20Torr至约200Torr、或约0.1Torr至约10Torr的压强下执行。这可包括

真空泵1784,其被配置成将室内部1714抽排至低压,例如具有约0.1Torr至约100Torr(包括约0.1Torr至约10Torr,约20Torr至约200Torr,或约0.1Torr至约10Torr)的压强的真空。

[0165] 现在将讨论基座1704的各种特征。基座1704包括加热器1722(在图17中以虚线矩形圈起来),其具有配置成发射可见光(其波长包含且介于400nm至800nm之间,包括450nm)的多个LED 1724。加热器LED将此可见光发射至衬底背侧,从而加热衬底。波长约400nm至800nm的可见光能够将硅晶片从环境温度(例如约20°C)快速有效率地加热至约600°C,因为硅吸收该范围内的光。相比之下,辐射(包括红外光辐射)加热可能无法有效率地将硅加热至高达约400°C的温度,因为硅在低于约400°C的温度下往往对红外光是透明的。依赖于衬底与加热板(例如带有加热线圈的基座)之间固体向固体热传递的传统的“热板”加热器有相对较慢的加热和冷却速度,并提供不均匀加热,其可能由衬底翘曲且与加热板接触不一致所引起。例如,将传统的基座加热至所需的温度、从第一较高温度加热到第二较高温度、以及将基座冷却至较低温度可能耗费几分钟。

[0166] 加热器的多个LED可以多种方式布置、电连接及电控制。每一LED可配置成发射可见蓝光和/或可见白光。在某些实施方案中,使用白光(使用EM光谱的可见光部分中的波长范围产生)。在一些半导体处理操作中,白光可减少或防止不希望的薄膜干扰。例如,一些衬底具有反射不同量的不同光波长的背侧膜,因而造成不均匀且可能低效的加热。使用白光可通过平均白光所提供的宽可见光谱范围上的薄膜干扰,以降低该不希望的反射变化。在一些实例中,根据衬底背面上的材料,使用可见的非白光(例如具有450nm波长的蓝光)可能是有利的,例如以提供单一或窄带波长,其可向对于窄带波长可比白光有更好吸收的一些衬底提供更有效率、更强大且更直接的加热。

[0167] 可采用多种类型的LED。示例包括板上芯片(COB)LED或表面贴装二极管(SMD)LED。对于SMD LED,LED芯片可熔接至印刷电路板(PCB)上,该印刷电路板可具有使得能控制芯片上各个二极管的多个电触点。例如,单个SMD芯片通常限于具有可单独控制以产生不同颜色的三个二极管(例如,红、蓝或绿)。SMD LED芯片的尺寸范围可例如为2.8x 2.5mm、3.0x3.0mm、3.5x 2.8mm、5.0x 5.0mm、以及5.6x 3.0mm。对于COB LED,每一芯片可具有印刷于同一个PCB上的多于3个二极管(例如九个、12个、数十个、数百个或更多)。无论二极管的数量如何,COB LED芯片通常具有一个电路及两个触点,因而提供简单的设计以及有效的单色应用。LED加热衬底的能力和性能可通过每一LED所放出的热的瓦特数来计量;这些瓦特的热可直接有利于加热衬底。

[0168] 图18描绘了具有多个LED的衬底加热器的顶视图。该衬底加热器1722包括印刷电路板1726和多个LED 1724,其中一些被标记;该描绘的多个包括大约1,300个LED。外部连接件1728通过迹线连接以对多个LED 1724提供功率。如图18所示,LED可沿着许多弧布置,这些弧以不同半径径向偏离衬底加热器1722的中心1730;在每一弧中,LED可相互等距隔开。例如,一个弧1732被用部分阴影点状形状圈出,包括16个LED 1724,且为半径R的圆的一部分,该圆绕着中心1730延伸。16个LED 1724可视为沿着弧1732相互等距隔开。

[0169] 在一些实施方案中,多个LED可包括至少约1,000个LED,例如包括约1,200、1,500、2,000、3,000、4,000、5,000或多于6,000个。在一些实例中,每一LED可配置成在100%功率下使用4瓦特或更少,包括在100%功率下使用3瓦特以及在100%功率下使用1瓦特。可布置这些LED并将其电连接至单独可控区域中,以实现整个衬底上的温度调整及微调。在一些实

例中,LED可被分组为至少20个例如独立可控区域,例如包括至少约25、50、75、80、85、90、95或100个区域。这些区域可以使得能在径向和方位角(即,角)方向上进行温度调整。这些区域可按限定的图案布置,例如按矩形网格、六边形网格或用于产生所需的温度曲线的其他合适图案布置。区域也可具有不同的形状,例如正方形、梯形、矩形、三角形、长圆形、椭圆形、圆形、环形(例如,环)、部分环形(即,环扇形)、弧形、节段形以及可以加热器的中心为中心且半径小于或等于衬底加热器的PCB总半径的扇形。这些区域能够调整整个晶片上许多位置处的温度,以产生更均匀的温度分布以及所需的温度曲线,例如衬底边缘周围的温度高于衬底中心的温度。这些区域的独立控制也可包括控制每一区域的功率输出的能力。例如,每一区域可具有至少15、20或25个可调功率输出。在一些实例中,每一区域可具有一个LED,因而使每一LED能够被单独控制且调整,其可在衬底上导致更均匀的加热曲线。因此,在一些实施方案中,衬底加热器中的多个LED中的每一LED可以是单独可控的。

[0170] 在某些实施方案中,衬底加热器1722被配置成将衬底加热至多个温度并维持每一种温度持续各种持续时间。这些持续时间可包括以下非限制性示例:至少约1秒、至少约5秒、至少约10秒、至少约30秒、至少约60秒、至少约90秒、至少约120秒、至少约150秒或至少约180秒。衬底加热器可配置成将衬底加热至例如介于约50°C与600°C之间,包括介于约50°C与150°C之间,包括约130°C,或介于大约150°C与350°C之间。衬底加热器可被配置成维持衬底处于这些范围内的温度持续各种持续时间,该持续时间例如包括以下非限制性示例:至少约1秒、至少约5秒、至少约10秒、至少约30秒、至少约60秒、至少约90秒、至少约120秒、至少约150秒或至少约180秒。此外,在一些实施方案中,衬底加热器1722被配置成在例如小于约60秒、小于约45秒、小于约30秒或小于约15秒内将衬底加热至这些范围内的任何温度。在某些实施方案中,衬底加热器1722被配置成以一种或更多加热速率加热衬底,例如介于至少约0.1°C/秒与至少约20°C/秒之间。

[0171] 衬底加热器可通过使LED在一个或更多功率电平(包括至少约80%、至少约90%、至少约95%或至少约100%功率)下发射可见光来提高衬底的温度。在一些实施方案中,衬底加热器被配置成发射介于10W与4000W之间,包括至少约10W、至少约30W、至少约0.3千瓦(kW)、至少约0.5kW、至少约2kW、至少约3kW、或至少约4kW的功率。该装置被配置成对基座提供介于约0.1kW与9kW之间的功率;功率供应源通过基座连接至衬底加热器,但未绘于图中。在温度上升期间,衬底加热器可以在高功率下操作,并且可以在较低功率水平(例如,包括介于约5W与约0.5kW之间)下操作以维持加热后的衬底的温度。

[0172] 在一些实施方案中,衬底加热器还可包括基座冷却器,其与LED热连接,使得多个LED所产生的热可从LED传递至基座冷却器。该热连接使得热可从多个LED沿着这些部件之间的一个或更多热流径传导至基座冷却器。在一些实例中,基座冷却器与衬底加热器的一或更多元件直接接触,而在其他实例中,其他传导元件,例如导热板(例如,包括金属)被插置于衬底加热器与基座冷却器之间。返回参考图17,衬底加热器包括与PCB 1726底部直接接触的基座冷却器1736。热配置成从LED流向PCB 1726,并流向基座冷却器1736。基座冷却器1736还包括多个流体管道1738,热传递流体(例如水)被配置成流过流体管道1738以接收热并且因此冷却衬底加热器1722中的LED。流体管道1738可连接至位于室外部的容器和泵(未图示)。在一些实例中,基座冷却器可配置成使被冷却的水(例如介于约5°C与20°C之间)流动。

[0173] 如本文所提供的,主动加热处理室1702的外表面可能是有利的。在一些实例中,加热基座1704的外表面可能同样是有利的,以防止在其外表面上出现不希望的凝结及沉积。如图17所示,基座1704可进一步包括的基座加热器1744在基座1704内部,其被配置成加热基座1704的外表面,包括其侧部1742A及底部1742B。基座加热器1744可包括一个或更多加热元件,例如一个或更多电阻加热元件以及加热流体被配置成在其中流动的流体管道。在一些实例中,基座冷却器及基座加热器都可具有相互流体连接的流体管道,使得相同的热传递流体可在基座冷却器与基座加热器两者中流动。在这些实施方案中,流体可加热至介于50°C与130°C之间,包括约90°C和120°C。

[0174] 基座也可包括窗以保护包括多个LED的衬底加热器免于因暴露于处理操作期间所使用的处理化学物质及压力而造成的损坏。如图17所示,窗1750可位于衬底加热器1722上方并可密封至基座1704的侧壁1749,以在基座内产生与室内部流体隔离的充气室容积。该充气室容积也可视为碗部1746的内部。窗可由对LED发射的可见光(包括波长于400nm至800nm范围内的光)透明的一种或更多种材料构成。在一些实施方案中,该材料可以是石英、蓝宝石、具有蓝宝石涂层的石英或氟化钙(CaF<sub>2</sub>)。窗内也可能不具有任何孔洞或开口。在一些实施方案中,加热器可以具有15至30mm的厚度,包括20mm和25mm。

[0175] 如图17所示,基座1704的衬底支撑件1708被配置成将衬底1718支撑在窗1750和衬底加热器1722上方并偏离窗1750和衬底加热器1722。在某些实施方案中,衬底的温度可通过热浮或热隔绝室内的衬底来快速且精确地控制。衬底的加热及冷却针对衬底的热质量以及与衬底接触的其他对象的热质量。例如,如果衬底与大物体热接触,例如在许多常规蚀刻装置中,整个衬底背侧靠在基座或静电卡盘的大表面上,则此物体作为衬底的散热件,其影响精确控制衬底温度的能力,降低衬底加热及冷却的迅速度。因此,希望将衬底设置成加热且冷却最小的热质量。该热浮配置成将衬底设置成使其与室中的其他物体有最小的热接触(包括直接和辐射)。

[0176] 因此,基座1704在一些实施方案中被配置成通过热浮或热隔绝室内部1714内的衬底以支撑衬底1718。基座1704的多个衬底支撑件1708被配置成支撑衬底1718,使得衬底1718的热质量尽可能地减少至仅有衬底1718的热质量。每一衬底支撑件1708可以具有提供与衬底1718最小接触的衬底支撑表面1720。衬底支撑件1708的数量可以在至少3个至例如至少6个或更多个的范围。支撑表面1720的表面积也可以是在处理操作期间充分支撑衬底所需的最小面积(例如,以支撑衬底的重量并防止衬底产生非弹性变形)。在一些实施方案中,例如,一个支撑表面1720的表面积可例如小于约0.1%、小于约0.075%、小于约0.05%、小于约0.025%或小于约0.01%。

[0177] 衬底支撑件还被配置成防止衬底与基座的其他元件(包括基座的表面及衬底下方的特征)接触。衬底1718还偏离衬底加热器1722(如在偏离衬底加热器1722的顶表面(其可以是LED 1724的顶表面)的一些实例中测量的)可能影响加热衬底1718的许多方面的距离。

[0178] 如上所述,衬底支撑件1708被配置成将衬底1718支撑于窗上方。在一些实施方案中,这些衬底支撑件是静止的并且固定于合适位置处;其可以不是升降销或支撑环。在一些实施方案中,包括支撑表面1720的每一衬底支撑件1708的至少一部分可以由至少对LED 1724所发射的光透明的材料构成。该材料在一些实例中可以是石英或蓝宝石。这些衬底支撑件1708的透光性可使得衬底加热器的1722个LED所发射的可见光能够穿过衬底支撑件

1708并且到达衬底1718,使得衬底支撑件1708不阻挡该光且衬底1718可在其被支撑的区域中加热。相比于包括对可见光部透明的材料的衬底支撑件,这可对衬底1718提供更均匀的加热。在一些其他实施方案中,衬底支撑件1708可由不透光材料(例如二氧化锆( $ZrO_2$ ))构成。

[0179] 返回参考图17,在一些实施方案中,基座还被配置成竖直移动。这可包括移动基座,使得气体分布单元1710的面板1776与衬底1718之间的间隙1786能够在2mm至70mm的范围内。如下文更详细地提供的,竖直移动基座可实现衬底的主动冷却以及处理操作(包括使气体流动和冲洗)的快速循环时间,因为其在气体分布单元1710与衬底1718之间产生小容积。该移动也可以在衬底与气体分布单元之间产生小的处理容积,其可导致较小的冲洗和处理容积,因而减少冲洗及气体移动时间并增加产量。

[0180] 气体分布单元1710被配置成使处理气体(其可包括液体和/或气体,例如反应物、改性分子、转化分子或去除分子)流至室内部1714中的衬底1718上。如图17所示,气体分布单元1710包括一个或更多流体入口1770,其流体连接至一个或更多气体源1772和/或一个或更多蒸汽源1774。在一些实施方案中,可加热气体管线和混合室,以防止在其中流动的蒸汽以及气体发生不希望的凝结。这些管线可被加热到至少约40°C、至少约80°C、至少约90°C、至少约120°C、至少约130°C、或至少约150°C。该一个或更多蒸汽源可包括被汽化的一个或更多气体和/或液体源。汽化可以是直接注入汽化器、流通式汽化器或两者。气体分布单元1710还包括面板1776,其包含有将气体分布单元1710流体连接至室内部1714的多个通孔1778。这些通孔1778流体连接至该一个或更多流体入口1770且还延伸穿过面板1776的前表面1777,前表面1777被配置成面向衬底1718。在一些实施方案中,气体分布单元1710可视为顶板,而在一些其他实施方案中,其可视为喷头。

[0181] 通孔1778可以各种方式配置,以将均匀的气流输送至衬底上。在一些实施方案中,这些通孔都可具有相同外径,例如介于约0.03英寸与0.05英寸之间,包括约0.04英寸(1.016mm)。这些面板通孔还可布置于整个面板上,以产生流出面板的均匀流。

[0182] 返回参考图17,气体分布单元1710还可包括单元加热器1780,该单元加热器1780热连接至面板1776,使得热可在面板1776与单元加热器1780之间传递。单元加热器1780可以包括其中可流过热传递流体的流体管道。与上文类似,热传递流体可被加热至例如约20°C至120°C的温度范围。在一些实例中,单元加热器1780可用于加热气体分布单元1710,以防止蒸汽和气体发生不希望的凝结;在一些这样的实例中,该温度可以是至少约90°C或120°C。

[0183] 在一些实施方案中,气体分布单元1710可以包括被配置成加热面板1776的第二单元加热器1782。该第二单元加热器1782可包括一个或更多电阻加热元件、用于加热流体流动的流体管道或两者。在气体分布单元1710中使用两个加热器1780和1782可实现气体分布单元1710内的多种热传递。这可包括使用第一和/或第二单元加热器1780和1782来加热面板1776以提供温度受控的室,如上所述,以减少或防止气体分布单元1710的元件上发生不希望的凝结。

[0184] 该装置1700还可配置成冷却衬底。该冷却可包括使冷却气体流至衬底上、将衬底移动到面板附近以允许衬底与面板之间的热传递、或两者。主动冷却衬底可实现更精确的温度控制以及更快的温度转换,其减少处理时间并提高产量。在一些实施方案中,使热传递

流体流过流体管道的第一单元加热器1780可用于通过将衬底1719传递来的热从面板1776传递出而冷却衬底1718。因此,衬底1718可通过将其设置成以例如小于或等于5mm或2mm的间隙1786紧邻面板1776来进行冷却,使得衬底1718中的热以辐射方式传递至面板1776,并通过第一单元加热器1780中的热传递流体从面板1776传递出。面板1776因此可视为是衬底1718的散热件以冷却衬底1718。

[0185] 在一些实施方案中,该装置1700还可以包括冷却流体源1773,其可包含冷却流体(气体或液体)以及被配置成将冷却流体冷却至所需的温度的冷却器(未描绘),例如小于或等于至少约90°C、至少约70°C、至少约50°C、至少约20°C、至少约10°C、至少约0°C、至少约-50°C、至少约-100°C、至少约-150°C、至少约-190°C、至少约-200°C、或至少约-250°C。该装置1700包括将冷却流体输送至该一个或更多流体入口1770的管路、以及配置成使冷却流体流至衬底上的气体分布单元1710。在一些实施方案中,流体在流至室102时可处于液态,而当其到达室内部1714时可变成蒸汽态,例如如果室内部1714处于低压态,例如以上所述,例如介于约0.1Torr与10Torr之间、或0.1Torr与100Torr之间、或介于约20Torr与200Torr之间。冷却流体可以是惰性元素,例如氮、氩或氦。在一些实例中,冷却流体可包括或可仅具有非惰性元素或混合物,例如氢气。在一些实施方案中,冷却流体进入室内部1714的流速可以是例如至少约0.25升/分钟、至少约0.5升/分钟、至少约1升/分钟、至少约5升/分钟、至少约10升/分钟、至少约50升/分钟或至少约100升/分钟。在某些实施方案中,该装置可以配置成以一种或更多冷却速率冷却衬底,所述冷却速率例如至少约5°C/秒、至少约10°C/秒、至少约15°C/秒、在至少约20°C/秒、至少约30°C/秒、或至少约40°C/秒。

[0186] 在一些实施方案中,该装置1700可通过将衬底移动至靠近面板并且使冷却气体流至衬底上来主动地冷却衬底。在一些实例中,当衬底紧邻面板时,通过使冷却气体流动,主动冷却会更有效。冷却气体的有效性也可取决于所使用的气体类型。

[0187] 本文所提供的装置因此可快速加热和冷却衬底。图19提供了示例性温度控制序列。在时间0,衬底处于约20或25°C,且本文所提供的衬底加热器的LED发射波长介于400nm与800nm之间的可见光,并导致衬底温度在大约30秒内上升至约400°C。该加热使用介于1kW与2kW之间的加热功率来完成,该加热功率是由约9kW的供应功率提供至衬底加热器。从约30秒至约95秒,衬底加热器1722使用较少功率(例如约2kW的供应功率所提供的0.3至约0.5kW的加热功率)来将衬底维持在400°C。在约30至60秒,使用流至衬底上的冷却气体(例如,氢或氦)并且将热传递至面板来主动冷却衬底。一旦冷却,衬底加热器使用约100W供应功率所提供的介于约10与30W之间的加热功率来加热衬底,以将其温度维持在约70°C。多种处理技术可一次或重复地使用该类型的序列来处理衬底。

[0188] 在一些实施方案中,该装置1700可以包括混合充气室,用于在到达流体入口1770之前混合并且/或者调节用于输送的处理气体。一个或更多混合充气室入口阀可控制处理气体引入混合充气室。在一些其他实施方案中,气体分布单元1710可包括一个或更多混合充气室于气体分布单元1710内。气体分布单元1710还可以包括流体连接至通孔1778的环形流径,其可将接收到的流体均等地分布至通孔1778,以在衬底上提供均匀流。

[0189] 装置1700包括控制器1731,其可以与控制器1666相同并且可以包括一个或多个物理或逻辑控制器,其与处理室通信连接并控制处理室的一些或全部操作,并且能够执行本文描述的任何处理。

[0190] 图20示意性地示出了处理站2000的实施方案,处理站2000可用于使用原子层沉积(ALD)和/或化学气相沉积(CVD)来沉积材料,其中任一种都可以是等离子体增强的。为了简单起见,处理站2000被描绘为具有用于维持低压环境的处理室主体2002的独立处理站。然而,应当理解,多个处理站2000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2000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。

[0191] 处理站2000与反应物输送系统2001流体连通,以将处理气体输送至分配喷头2006。反应物输送系统2001包含混合容器2004,混合容器2004用于共混和/或调节处理气体以输送至喷头2006。一个或多个混合容器入口阀2020可以对处理气体导入至混合容器2004进行控制。类似地,喷头入口阀2005可对处理气体导入至喷头2006进行控制。

[0192] 一些反应物,如BTBAS,可以在蒸发之前以液体形式储存并随后输送到处理站。例如,图20的实施方案包含汽化点2003,汽化点2003用于汽化将供应至混合容器2004的液体反应物。在一些实施方案中,汽化点2003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2003下游的输送管道可以被热追踪。在一些示例中,混合容器2004也可以被热追踪。在一个非限制性示例中,汽化点2003下游的管道具有从约100℃升高至在混合容器2004处的约150℃的升高的温度分布。

[0193] 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2003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2004。在另一情况中,液体喷射器可以直接装载到喷头2006。

[0194] 在一些实施方案中,可以在汽化点2003上游设置液体流控制器来控制用于汽化并输送至处理站2000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。

[0195] 喷头2006朝衬底2012分配处理气体。在图20所示的实施方案中,衬底2012位于喷头2006下方,并且示出为安置在基座2008上。应当理解,喷头2006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,以将处理气体分配至衬底2012。

[0196] 在一些实施方案中,微体积2007位于喷头2006下方。在微体积中而不是在处理站的整个体积中执行ALD和/或CVD处理可以减少反应物暴露和清扫时间,可以减少改变处理条件(例如,压强、温度等)的时间,可以限制处理站机械手对处理气体的暴露等。示例性的

微体积大小包括但不限于0.1升和2升之间的容积。这个微量体积也影响生产力吞吐量。当每个循环的沉积速率下降时,循环时间也同时减少。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。

[0197] 在一些实施方案中,可以升高或降低基座2008以使衬底2012暴露于微体积2007和/或改变微体积2007的体积。例如,在衬底传送阶段中,可以降低基座2008以使得衬底2012能被加载在基座2008上。在沉积处理阶段期间,可以升高基座2008以将衬底2012定位在微体积2007内。在一些实施方案中,微体积2007可以完全包围衬底2012以及基座2008的一部分以在沉积处理期间形成高流阻抗的区域。

[0198] 任选地,基座2008可以在沉积处理的部分期间降低和/或升高,以调节微体积2007内的处理压强、反应物浓度等。在一种使处理室主体2002在沉积处理期间保持在基础压强下的情况下,降低基座2008可以使得微体积2007能被抽空。微量体积与处理室体积的示例性比率包括但不限于1:2000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。

[0199] 在另一情形中,调整基座2008的高度可以使得在沉积处理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。在沉积处理阶段结束时,基座2008可以在另一衬底转移阶段期间降低,以使得能从基座2008移除衬底2012。

[0200] 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2006的位置可以相对于基座2008调节以改变微体积2007的体积。此外,应当理解的是,基座2008和/或喷头2006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2008可包括用于使衬底2012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。

[0201] 在一些实施方案中,图2000中的处理室不使用等离子体进行ALD沉积,因此不具有等离子体相关设备。在一些其他实施方案中,可以使用等离子体或者反应器可以具有这样的等离子体相关设备。例如,如图20所示,喷头2006和基座2008与RF功率源2014和匹配网络2016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2014和匹配网络2016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2014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2014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2000kHz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。

[0202] 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/或处理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。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和其它处理特性。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。

[0203] 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,用于设置等离子体处理阶段的等离子体条件的指令可被包含在沉积处理配方的相应的等离子体激活配方阶段中。在一些情况下,处理配方阶段可按顺序排列,使得用于沉积处理阶段的所有指令与该处理阶段同时执行。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处理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,用于将等离子体产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产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产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。

[0204] 在一些沉积处理中,等离子体最后的持续时间约为几秒或更长时间。在某些实施方案中,可以使用短得多的等离子体激励。这些可以是大约10毫秒到1秒,通常大约20到80毫秒,其中50毫秒是具体示例。如此短的射频等离子体激励需要等离子体极快地稳定。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设置为特定电压,同时允许频率浮动。传统上,高频等离子体是在大约13.56MHz的RF频率下产生的。在本文公开的各种实施方案中,允许频率浮动至与该标准值不同的值。通过允许频率浮动,同时将阻抗匹配固定到预定电压,等离子体可以更快地稳定,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。

[0205] 在一些实施方案中,基座2008可以通过加热器2010进行温度控制。在一些实施方案中,加热器2010可以与上述和图16-18中所示的加热器单元相同,例如包括多个用于加热晶片的LED。此外,在一些实施方案中,沉积处理站2000的压强控制可以由蝶形阀2018提供。如图20的实施方案所示,蝶形阀2018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,处理站2000的压强控制也可以通过改变引入到处理站2000的一种或多种气体的流速来调节。

[0206] 尽管图20被描绘为单个站,但是应当理解,处理室可以具有共享气体输送系统或其他设备的多个这样的站。例如,如图10和图12所示,室1004、1006、1202和1204包括四个处理站。每个站可以包括关于图16-18和20中的单个站描述的任何和所有特征。室1004和1202中的站可以用于蚀刻,并且室1006和1204中的站可以用于沉积晶片上的材料。例如,室1004和1202的每个站可用于在特定处理站处对保持在晶片保持器(例如基座)中的晶片执行热蚀刻,例如热ALE;类似地,室1006和1204的每个站可用于在特定处理站处的晶片保持器中保持的晶片上执行沉积,例如ALD和热ALD。其他类似的多站处理设备可以具有更多或更少的处理站,这取决于实现方案以及例如并行晶片处理的期望水平、尺寸/空间限制、成本限制等。

[0207] 对于一些处理室,例如分别在图10和图12中的沉积室1006和1204,RF子系统1090和1290可以生成RF功率并通过射频输入端口将RF功率传送到集成电路制造室1006和1204。

在特定实施方案中,集成电路制造室1006和1204除了射频输入端口之外还可以包括输入端口。因此,集成电路制造室1006和1204可以利用8个RF输入端口。在特定实施方案中,集成电路制造室1006和1204的处理站1082A-D和1282A-D可各自利用第一输入端口和第二输入端口,其中第一输入端口可传送具有第一频率的信号,并且其中第二输入端口可传送具有第二频率的信号。双频率的使用可以带来增强的等离子体特性。

[0208] 如上所述,可以在本文描述的工具上采用系统控制器来控制蚀刻和/或沉积期间的处理条件。例如,图10中的1029、图12中的1229和图16中的1666的控制器通常将包括一个或多个存储器设备以及一个或多个处理器。控制器1029可以控制工具1000和/或1200的所有活动。在一些实现方案中,控制器1029和/或1229是系统的一部分,该系统可以是上述示例的一部分。这种系统可以包含半导体处理设备,该半导体处理设备包含一个或多个处理工具、一个或多个处理室、用于处理的一个或多个平台和/或具体的处理组件(晶片基座、气流系统等)。这些系统可以与用于控制它们在处理半导体晶片或衬底之前、期间和之后的操作的电子器件集成。

[0209] 控制器被配置为执行上述任何技术。例如,参考图10的装置1000或图12的装置1200以及图1的技术,在一些实施方案中,控制器1029和/或1229被配置成使衬底加热单元带动(即,加热)定位在衬底支撑特征上的晶片至第一温度,并且导致处理气体单元使第一处理气体流至晶片。如上所述,在一些实施方案中,第一处理气体被配置成通过化学吸附来改性晶片上的一个或多个硫族化物表面层,而不使用等离子体,同时晶片保持在第一温度。如本文所述,控制器还可以被配置成使得处理气体单元使第二处理气体流到衬底上,以去除硫族化物的改性层。如本文所述,一些实现方案包括控制器使得一层或多层封装材料沉积到晶片上。控制器还被配置为使得包括任意机械臂的晶片传送单元在任意处理站之间传送晶片并控制压强单元1016和1216,压强单元1016和1216可以包括一个或多个真空泵,以控制工具和室内的压强。

[0210] 虽然已经针对所示实施方案具体描述了本文公开的主题,但是应当理解,可以基于本公开进行各种改变、修改和调适,并且这些改变、修改和调适旨在落入本发明的范围内。应当理解,本说明书不限于所公开的实施方案,而是相反,旨在覆盖包括在权利要求的范围内的各种修改和等同布置。

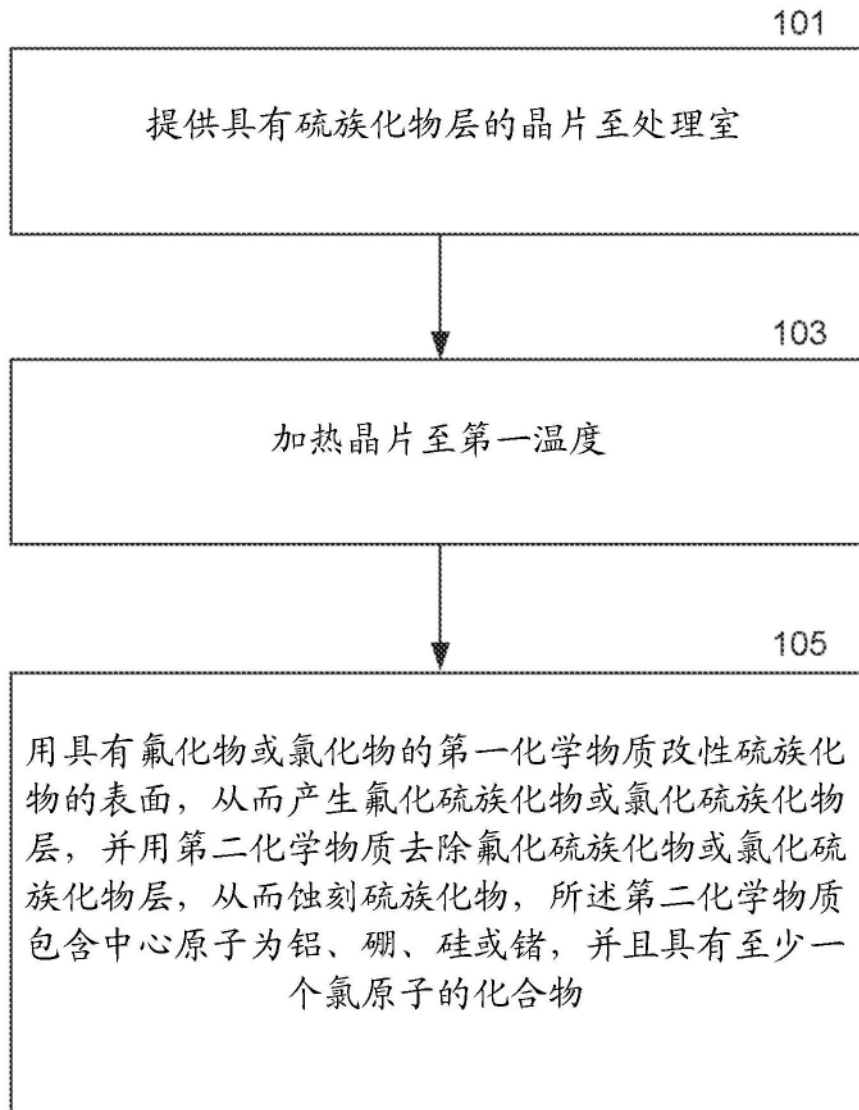


图1

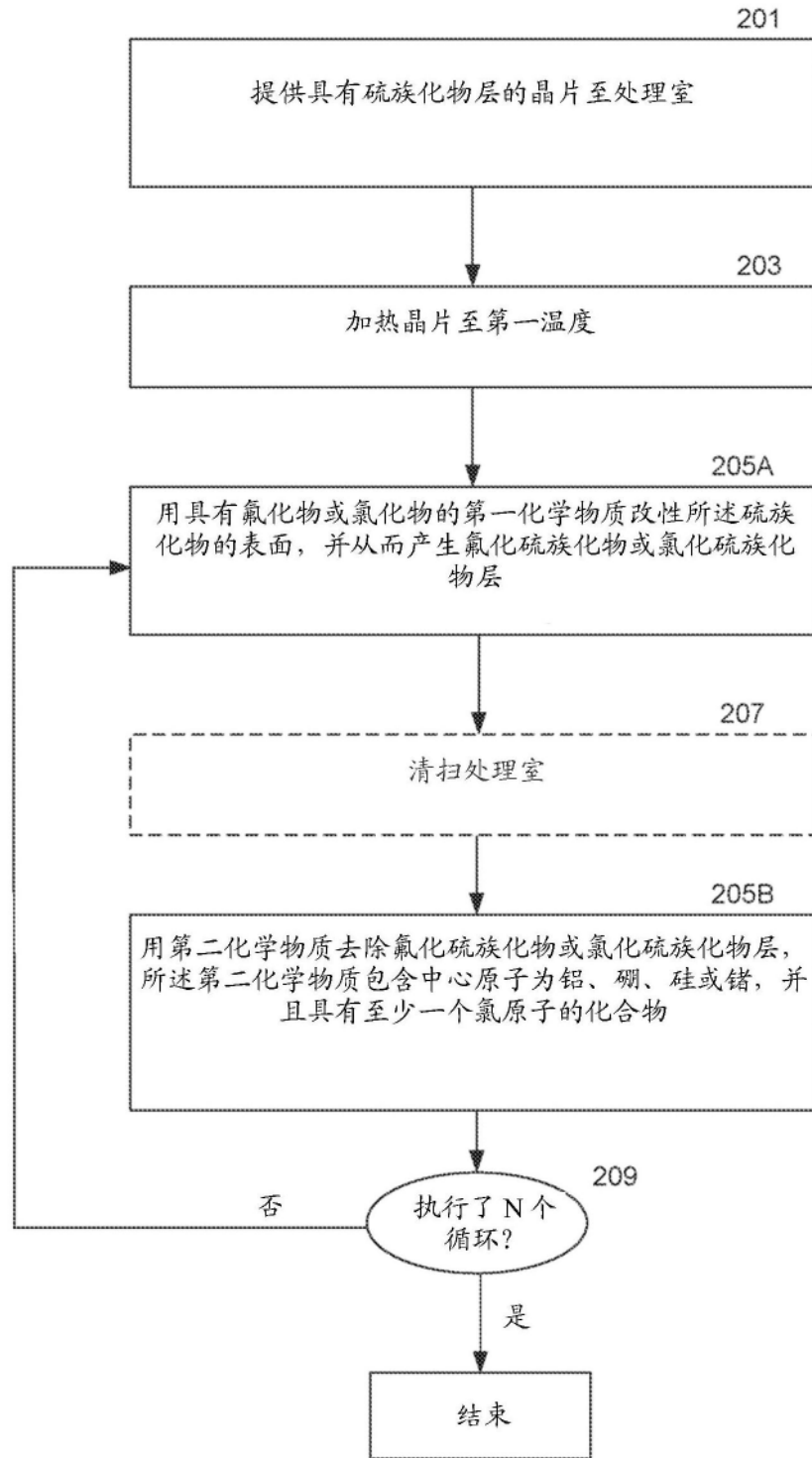


图2

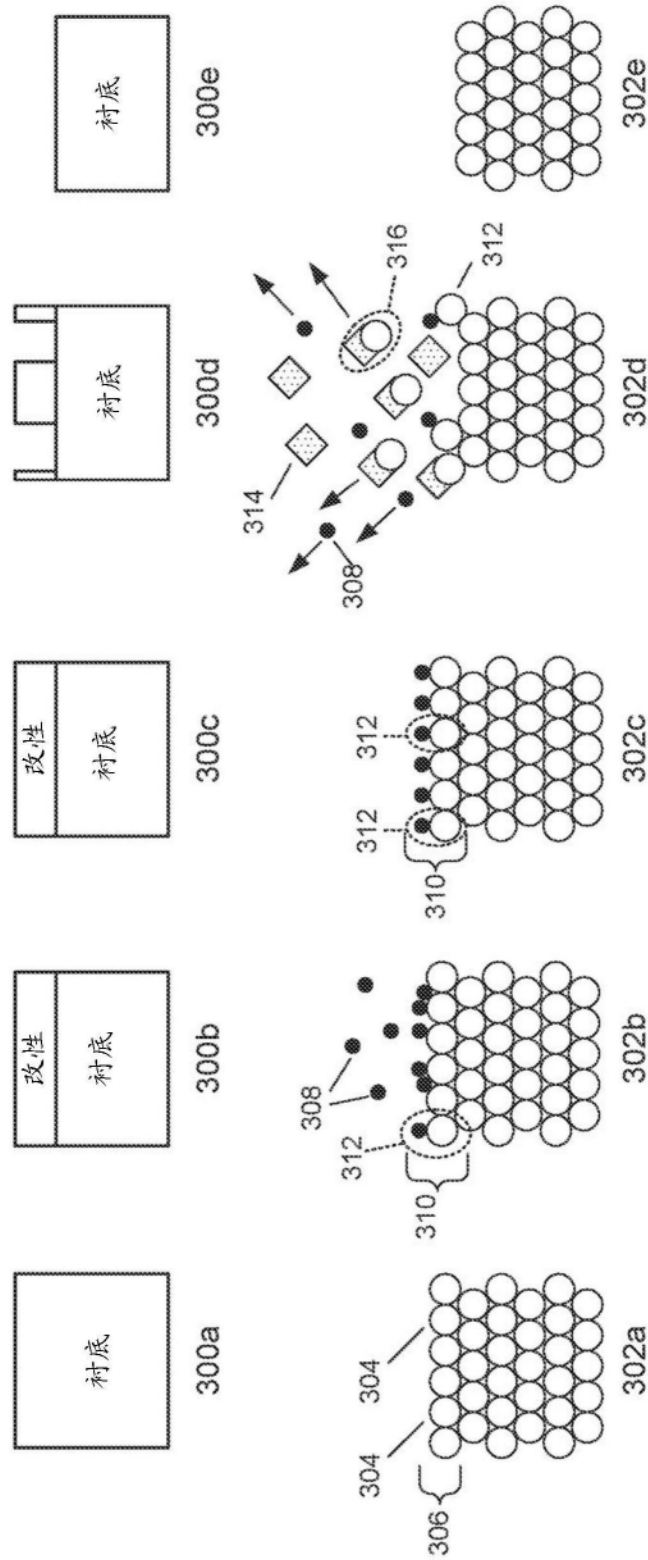


图3

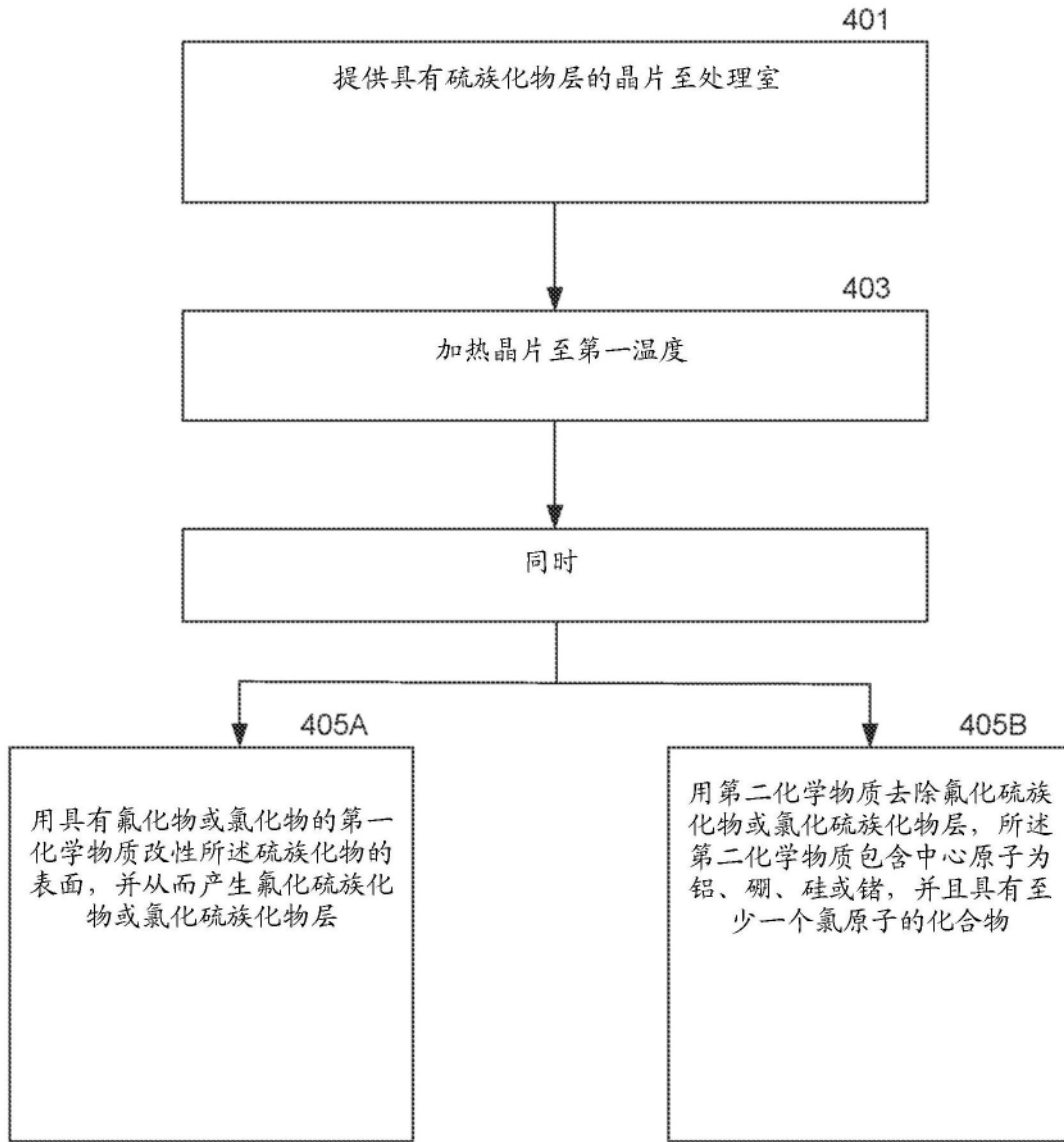


图4

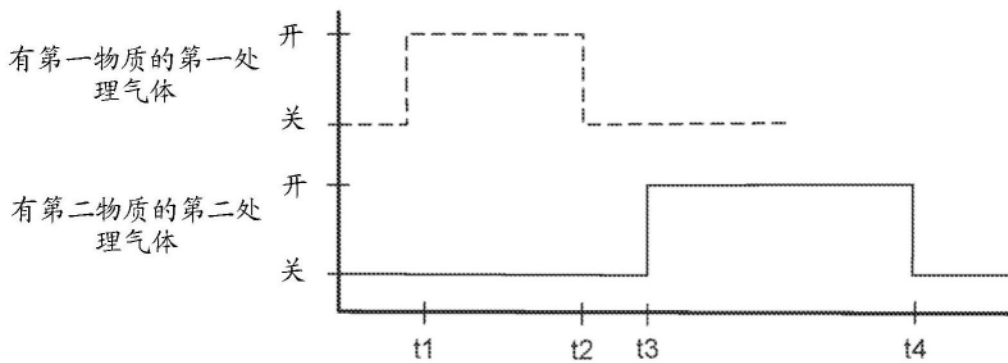


图5A

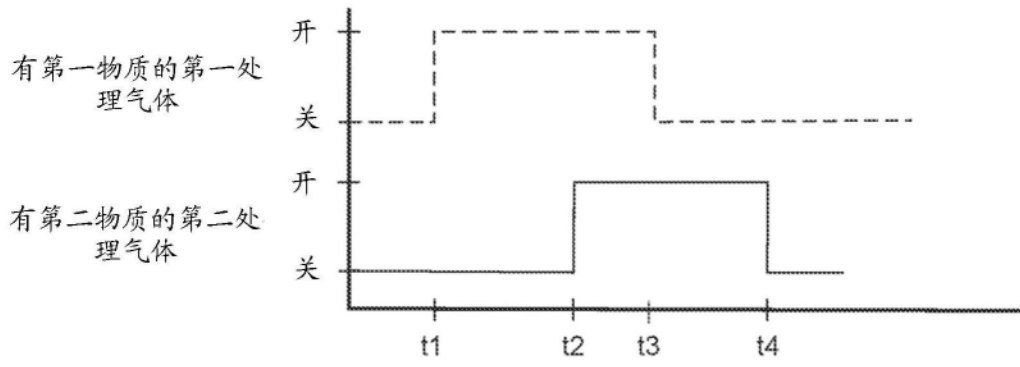


图5B

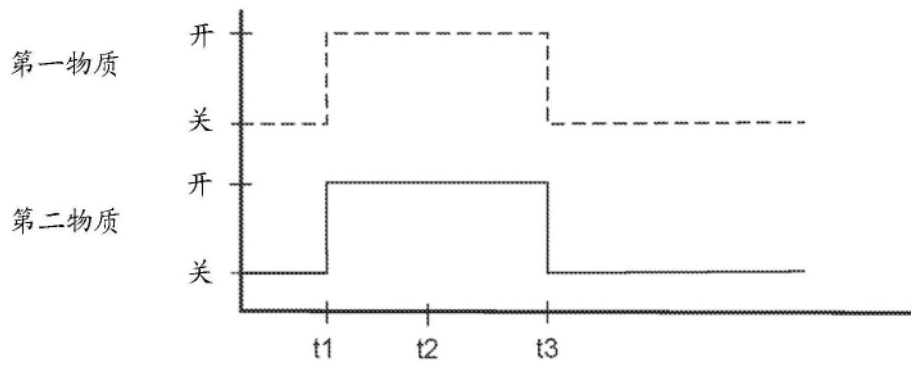


图5C

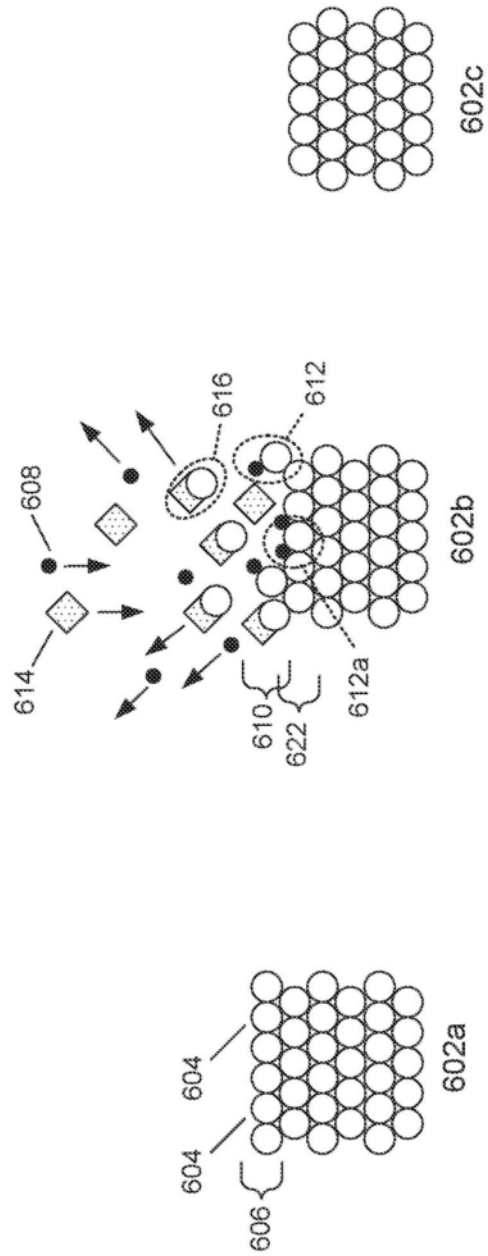


图6

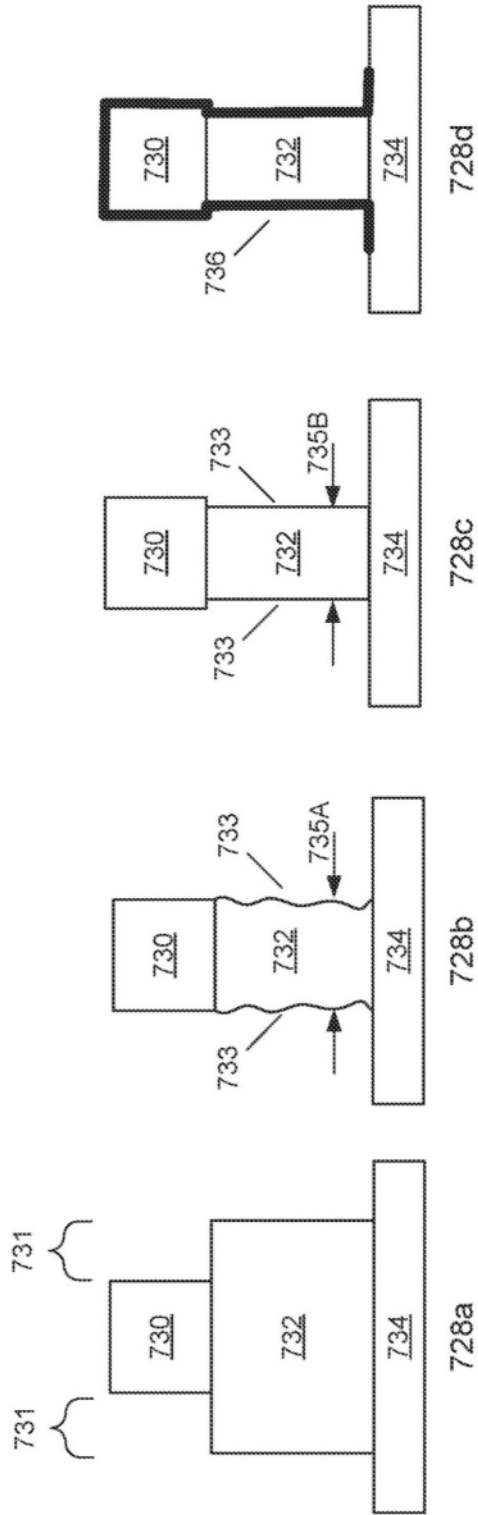


图7

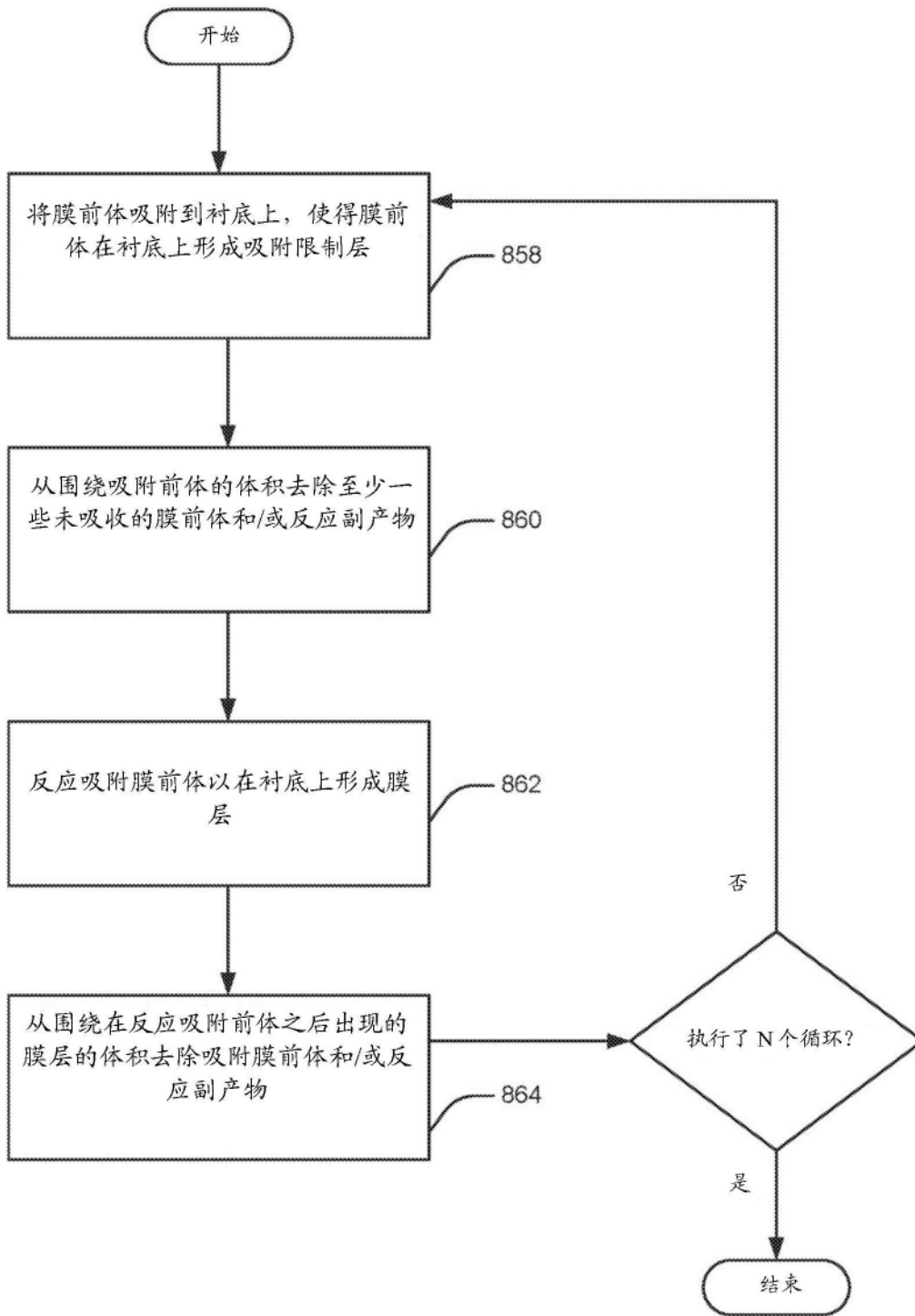


图8

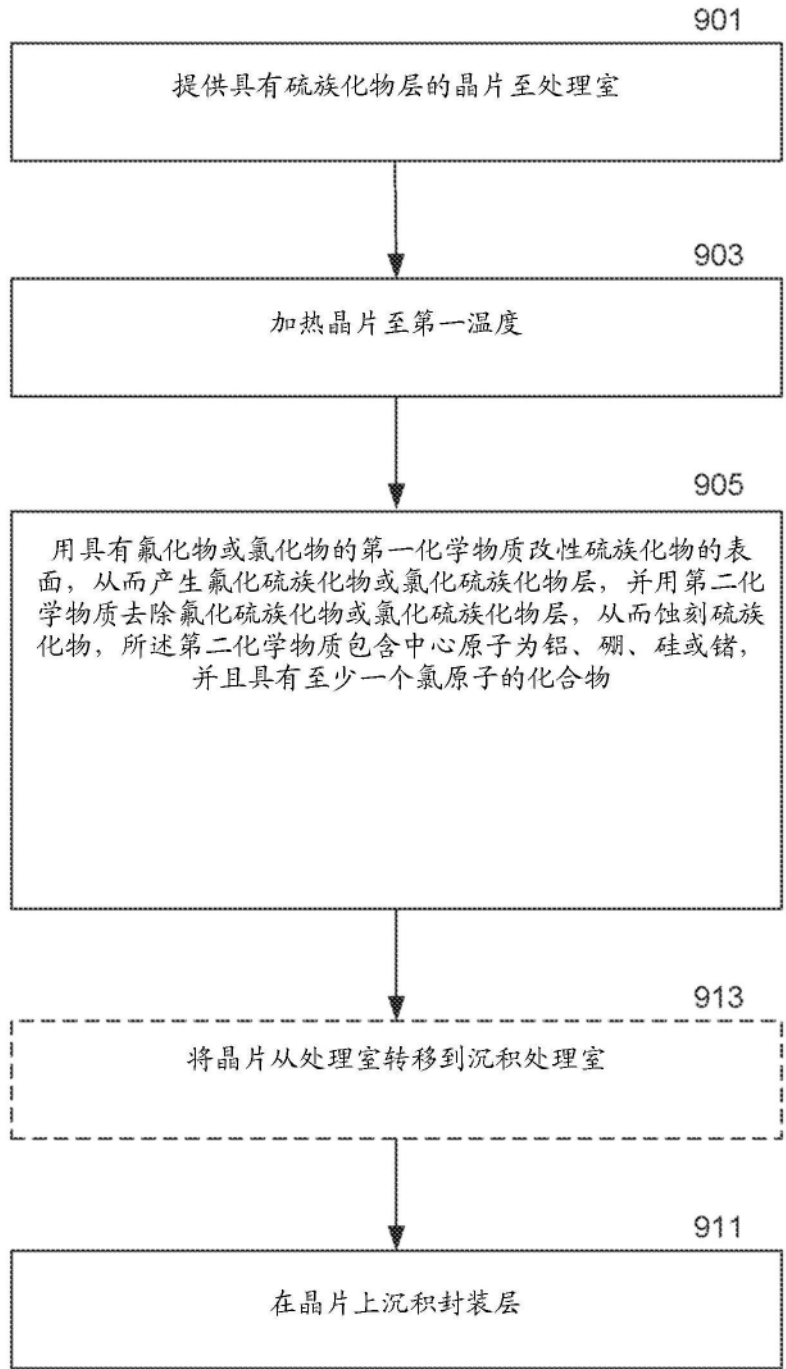


图9

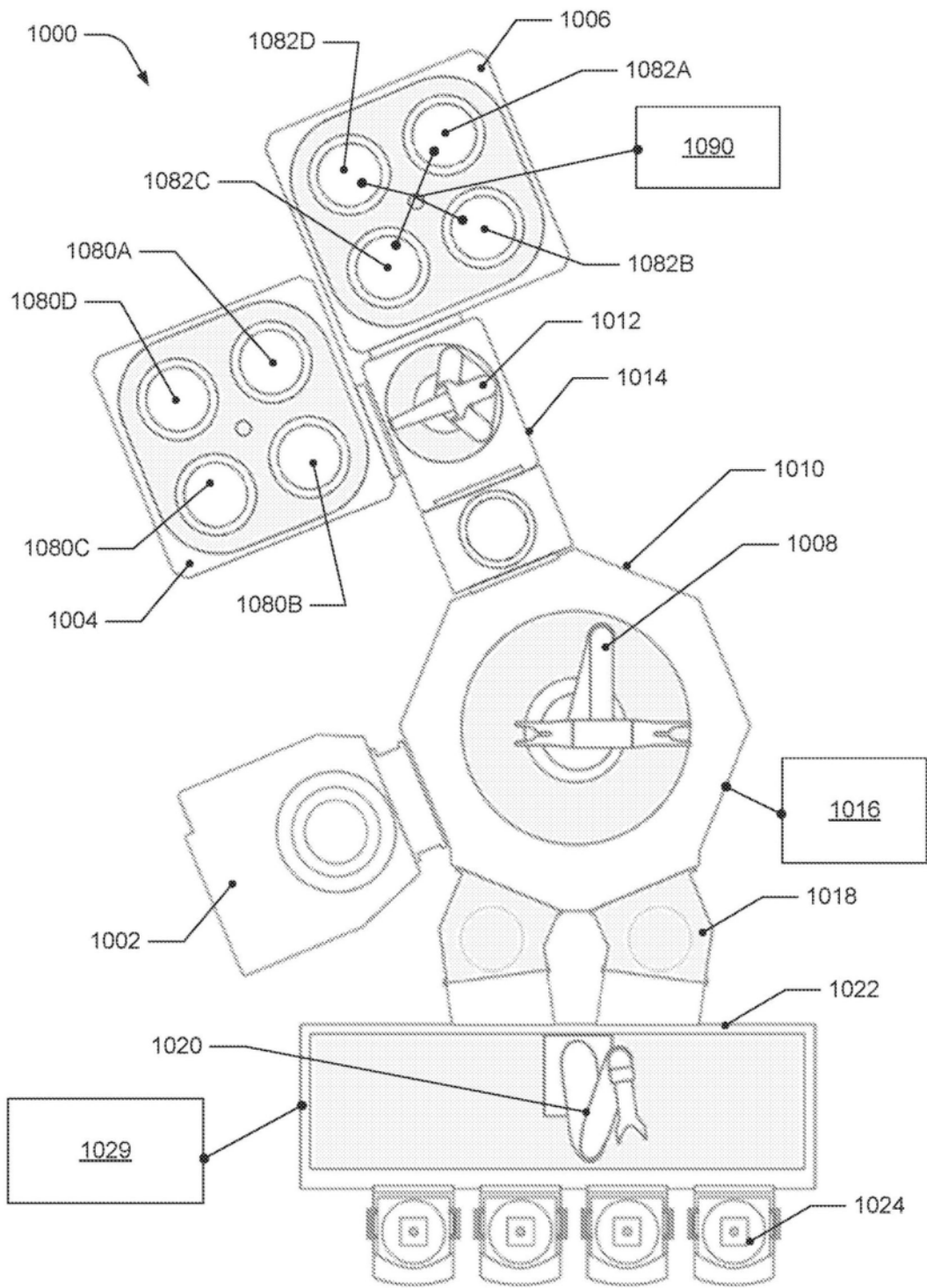


图10

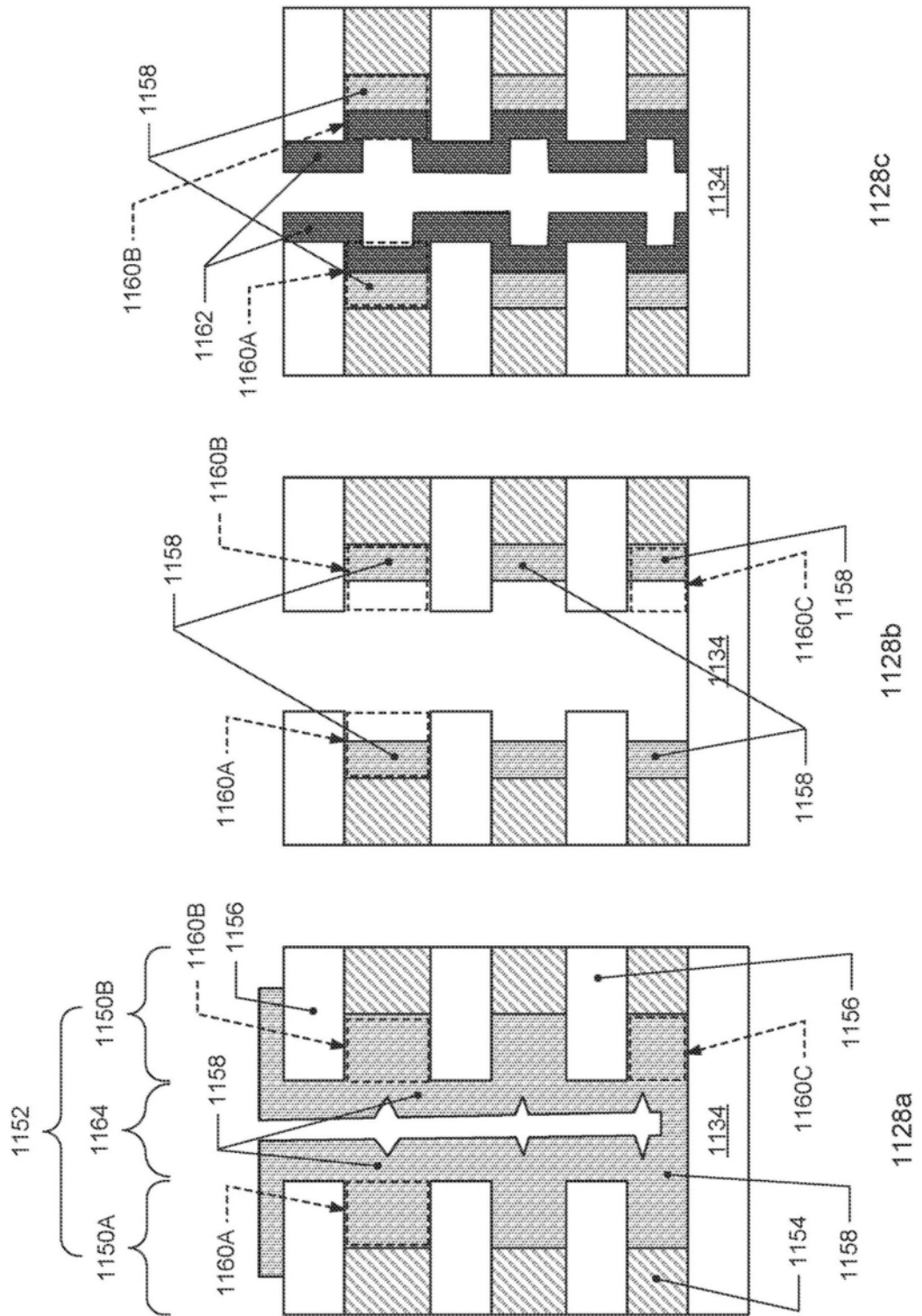


图11

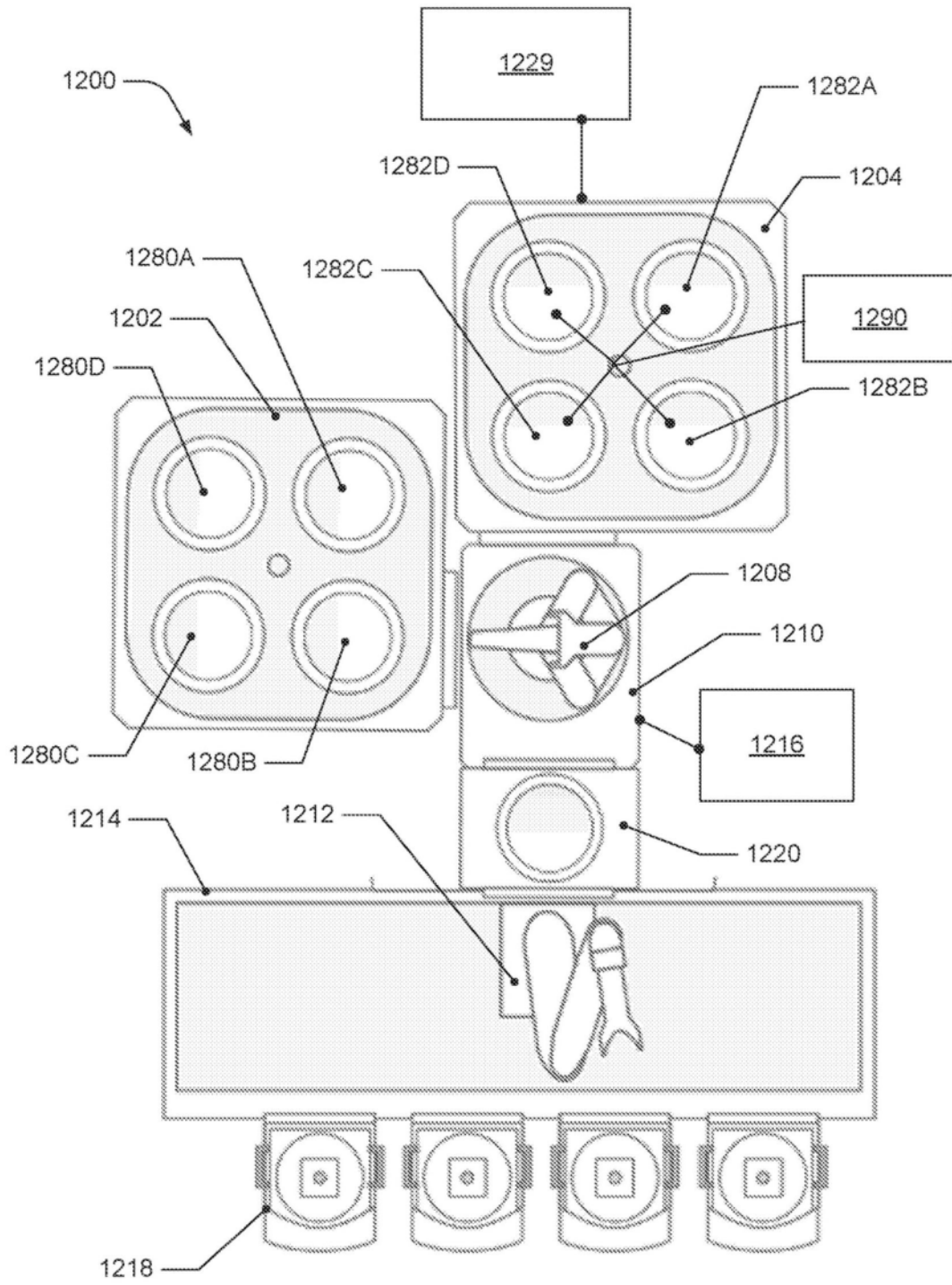


图12

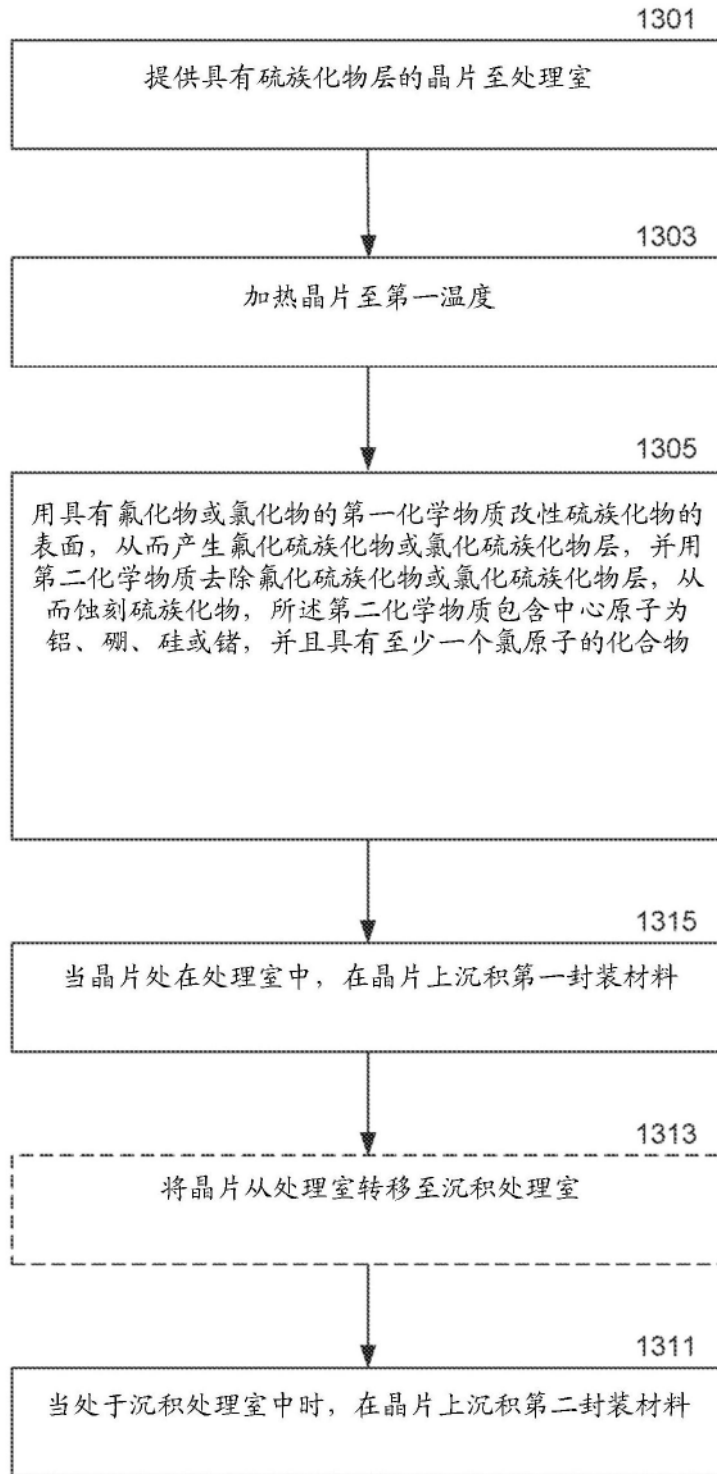


图13

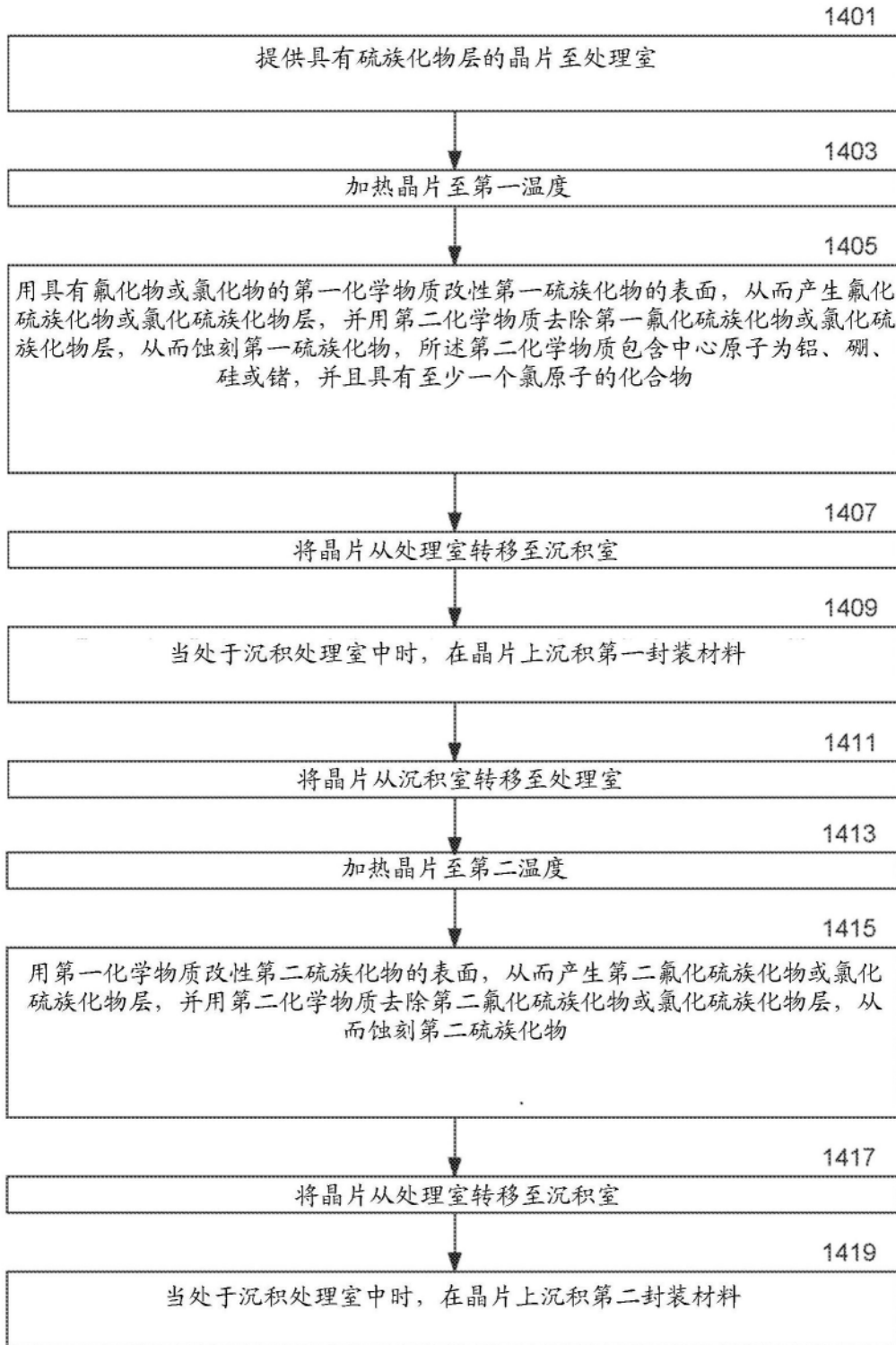


图14

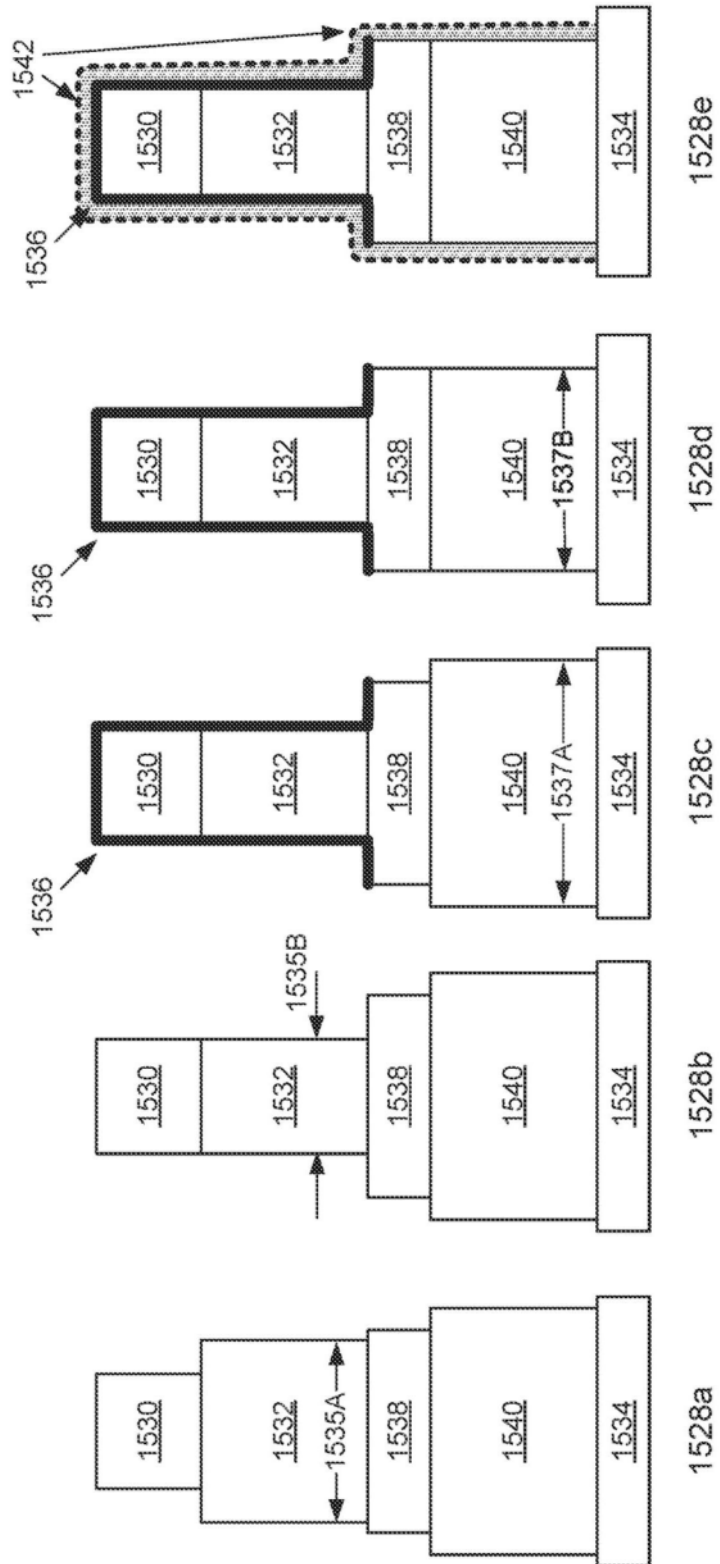


图15

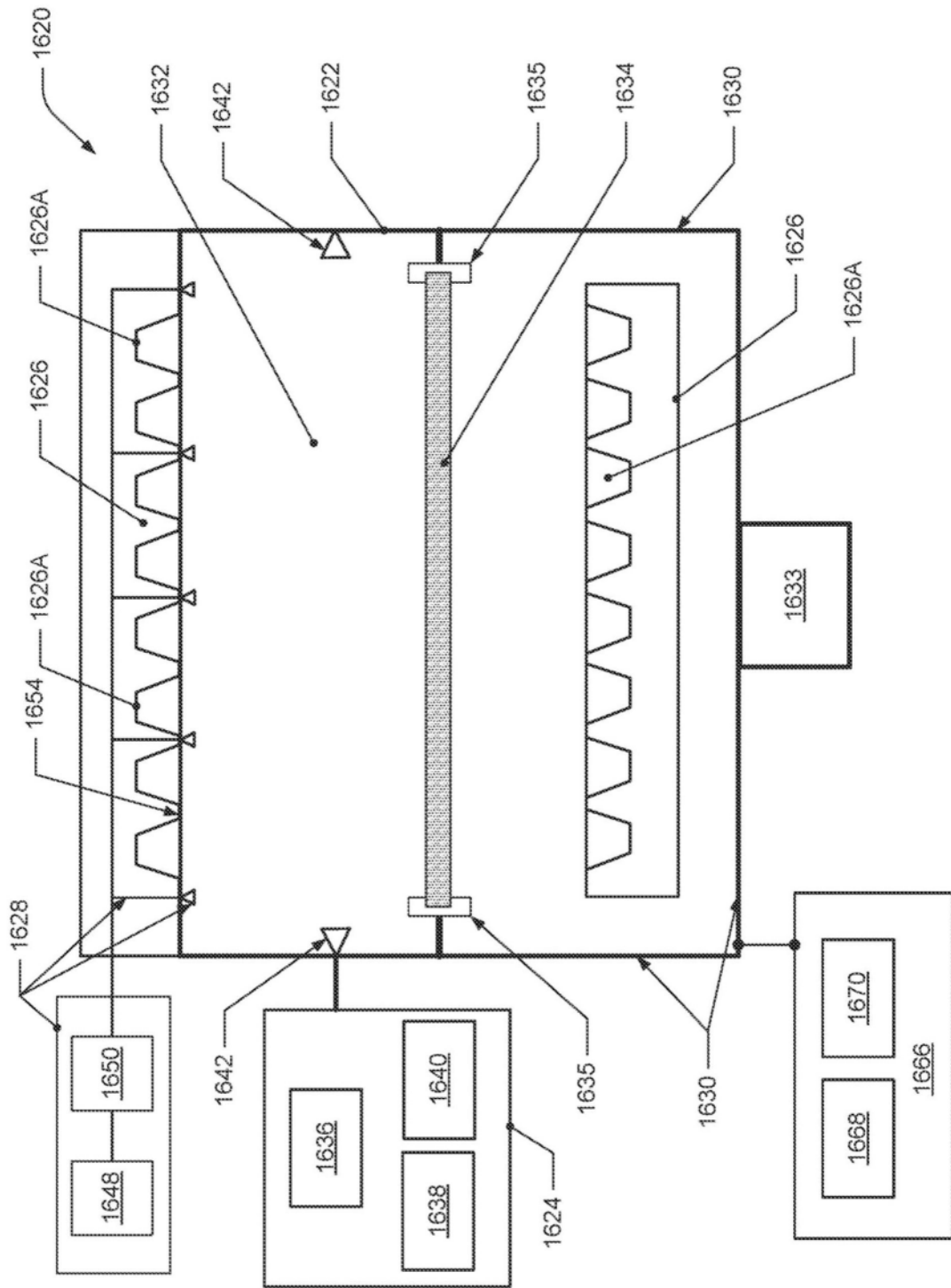


图16





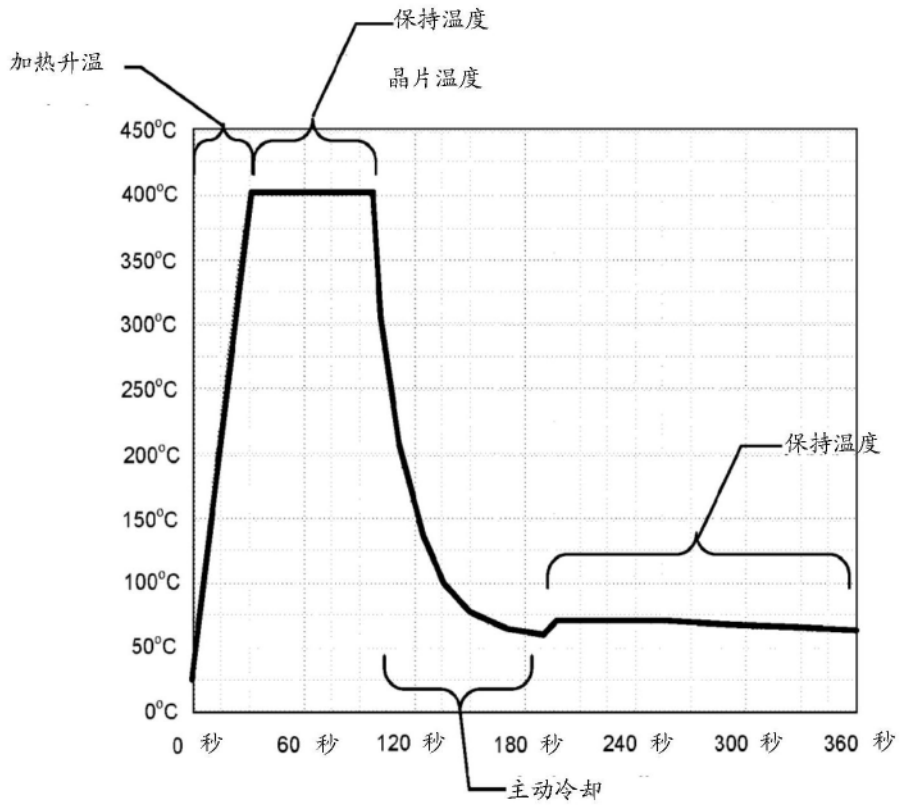


图19

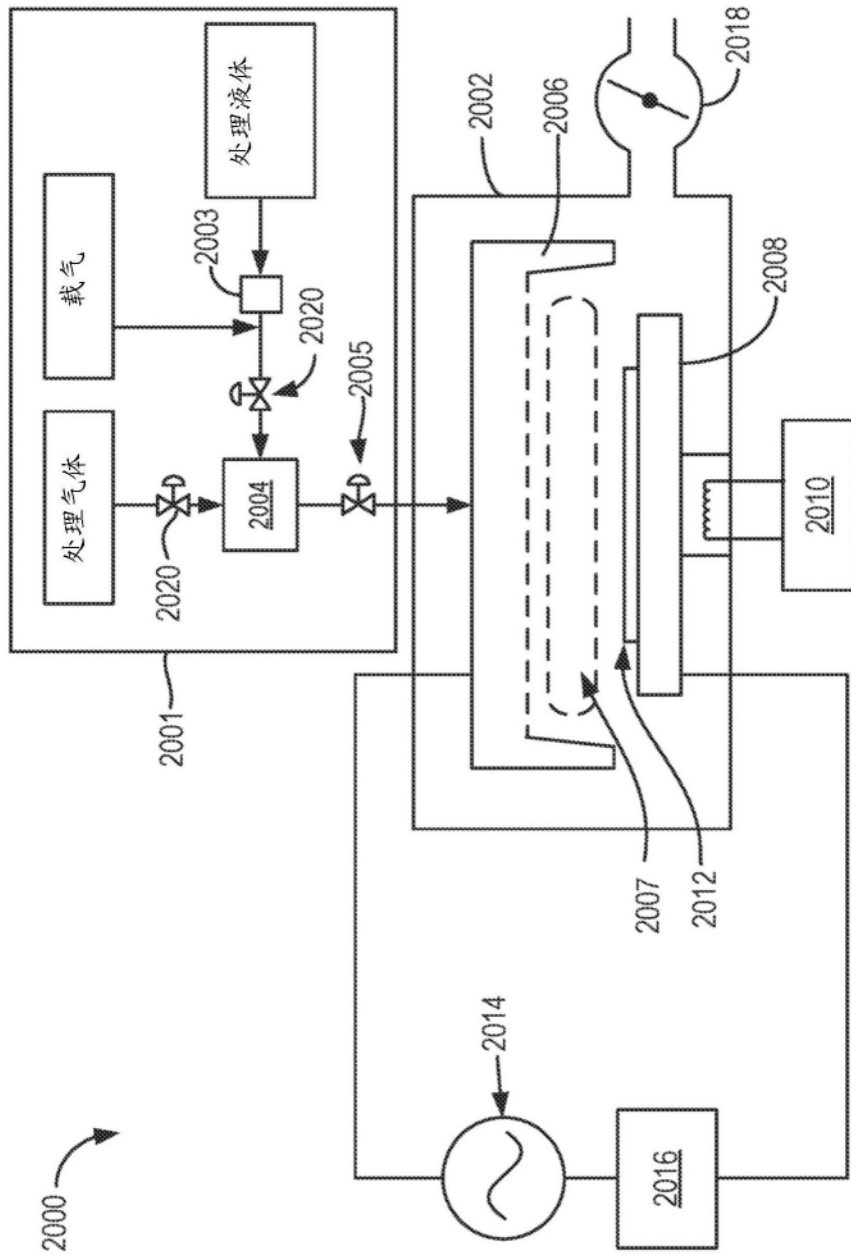


图20