



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107112186 A

(43)申请公布日 2017.08.29

(21)申请号 201580054079.9

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限

(22)申请日 2015.09.01

公司 11227

(30)优先权数据

62/046,878 2014.09.05 US

代理人 唐京桥 陈炜

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.04.05

(51)Int.Cl.

H01J 37/317(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

H01L 21/3065(2006.01)

PCT/US2015/047943 2015.09.01

H01L 21/311(2006.01)

H01L 21/3213(2006.01)

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/036739 EN 2016.03.10

(71)申请人 TEL艾派恩有限公司

权利要求书3页 说明书16页 附图6页

地址 美国马萨诸塞州

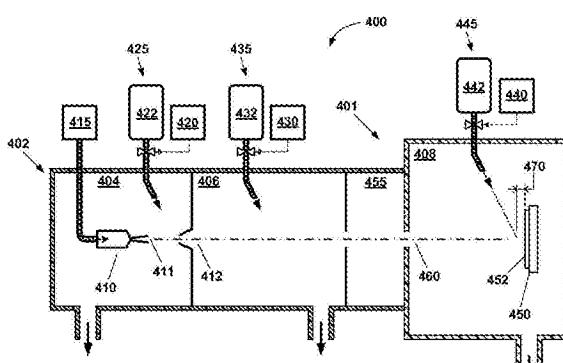
(72)发明人 迈克尔·格拉夫 诺尔·拉塞尔  
马修·C·格温 艾伦·J·莱特

(54)发明名称

用于基片的射束处理的过程气体增强

(57)摘要

描述了一种射束处理系统和操作方法。特别地，射束处理系统包括：具有喷嘴组件的射束源，该喷嘴组件被配置为通过喷嘴组件将主气体引入至真空容器，以便产生气体束，例如气体团簇束；以及可选地，电离器，其定位在喷嘴组件下游，并且被配置为电离气体束以产生经电离的气体束。射束处理系统还包括：处理室，基片定位在该处理室内以由气体束进行处理；以及辅助气体源，其中，辅助气体源包括：辅助气体供应系统，其输送辅助气体；以及辅助气体控制器，其可操作地控制注入到喷嘴组件下游的射束处理系统中的辅助气体的流动。



1. 一种处理基片的方法,包括:

在射束处理系统的处理室中提供基片;

通过使主气体通过至少一个喷嘴膨胀到所述射束处理系统中来形成气体束;

在所述至少一个喷嘴的出口下游的位置处将辅助气体供应到所述射束处理系统;以及

独立于所述供应,将所述气体束辐照到所述基片的暴露表面上,以在所述辅助气体的存在下处理所述基片的暴露表面,

其中,所述辅助气体包括含氢气体或蒸气,所述含氢气体或蒸气选自由原子氢(H)、亚稳态氢(H\*)、离子氢(H<sup>+</sup>)、双原子氢(H<sub>2</sub>)、H<sub>2</sub>O、NH<sub>3</sub>、烃、卤化物、卤代甲烷、或卤代硅烷或者其中两种或更多种的任意组合组成的组。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述辅助气体还包括含卤素气体或蒸气。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述含卤素气体或蒸气包括原子卤素、亚稳态卤素、离子卤素、双原子卤素、含卤素基团、卤化物、卤代甲烷、或卤代硅烷或者其中两种或更多种的任意组合。

4. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述含卤素气体包括F<sub>2</sub>、HF、CHF<sub>3</sub>、CF<sub>4</sub>、NF<sub>3</sub>、或SiF<sub>4</sub>或者其中两种或更多种的任意组合。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述气体束包括粒子束、带电粒子束、气体团簇束(GCB)、气体团簇离子束(GCIB)、或其组合或者组合中的任意部分。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中,所述GCIB包括:蚀刻GCIB,其被配置成执行蚀刻过程并且蚀刻所述基片上的暴露表面的至少一部分,并且其中,所述辅助气体被选择成与所述蚀刻过程的副产物、沉积物或残留物起反应。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中,在所述辅助气体的供应期间,在所述辅助气体的供应之前,或者在所述辅助气体的供应之后,或者其中两个或更多个的任意组合,使用所述气体束对所述基片进行辐照。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述气体束还包括一种或更多种稀有元素。

9. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述辐照包括:

使用包括所述主气体的过程组合物来建立所述气体束;

电离所述气体束的至少一部分;

选择射束能量、射束能量分布、射束焦距和射束剂量,以实现对所述基片上的暴露表面的期望处理;

加速经电离的气体束,以实现所述射束能量;

使经电离的气体束聚焦,以实现所述射束焦距;以及

根据所述射束剂量将经加速的气体束的至少一部分辐照到所述基片的至少一部分上。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中,所述气体束包括范围从每原子约0.25eV至每原子约100eV的每原子能量比率。

11. 一种蚀刻基片的方法,包括:

在射束处理系统的处理室中提供基片;

通过使主气体通过至少一个喷嘴膨胀到所述射束处理系统中来形成气体束,所述主气体包括用于蚀刻所述基片的至少一部分的蚀刻化合物;

在所述至少一个喷嘴的出口下游的位置处将辅助气体供应到所述射束处理系统;以及

独立于所述供应,将所述气体束的至少一部分辐照到所述基片的暴露表面上,以在所述辅助气体的存在下蚀刻所述基片的至少一部分,

其中,所述辅助气体包括含卤素气体或蒸气、或者含氢气体或蒸气或其组合。

12.根据权利要求11所述的方法,其中,所述基片的所述一部分包括含Si材料、含Ge材料、或含金属材料或者其中两种或更多种的任意组合中之一。

13.根据权利要求12所述的方法,其中,所述含Si材料包括Si和选自由O、N、C、B、P和Ge组成的组中的至少一种元素。

14.根据权利要求11所述的方法,其中,所述蚀刻化合物为卤素、卤化物、卤代甲烷、卤代硅烷、或卤代锗烷或者其中两种或更多种的任意组合。

15.根据权利要求11所述的方法,其中,所述蚀刻化合物包括SiF<sub>4</sub>、CF<sub>4</sub>、SF<sub>6</sub>、CHF<sub>3</sub>、或NF<sub>3</sub>或者其中两种或更多种的任意组合。

16.根据权利要求11所述的方法,还包括:

沿着所述气体束的路径在所述处理室内设置子室,所述子室具有:入口,所述气体束通过所述入口进入所述子室;以及出口,所述气体束通过所述出口离开所述子室并且紧接其后撞击所述基片;以及

使所述辅助气体直接流入至所述子室中,以与所述气体束相互作用。

17.一种射束处理系统,包括:

射束源,包括:

喷嘴组件,其具有气体源和至少一个喷嘴,并且被配置为通过所述至少一个喷嘴将主气体引入真空容器以产生气体束;

处理室,基片定位在所述处理室内,以用于由所述气体束进行处理;以及

辅助气体源,包括:

辅助气体供应系统,其在所述气体束与所述基片的冲击区处或附近输送并且引导辅助气体至所述处理室;以及

辅助气体控制器,其可操作地控制注入到所述喷嘴组件的下游的射束处理系统中的辅助气体的流动。

18.根据权利要求17所述的射束处理系统,还包括:

最终孔,所述气体束在撞击所述基片之前通过所述最终孔,其中,所述辅助气体被注入到所述最终孔的下游的射束处理系统中。

19.根据权利要求17所述的射束处理系统,其中,所述射束源还包括:

电离器,其定位在所述喷嘴组件的下游,并且被配置成电离所述气体束以产生经电离的气体束;以及

压力单元室,其沿着所述气体束在所述电离器与所述基片之间的路径布置,其中,所述压力单元室耦接到惰性气体供应系统,所述惰性气体供应系统将背景气体供应到所述压力单元室,以便升高所述压力单元室的压力。

20.根据权利要求17所述的射束处理系统,还包括:

子室,其沿着所述气体束的路径布置在所述处理室内,所述子室具有:入口,所述气体束通过所述入口进入所述子室;以及出口,所述气体束通过所述出口离开所述子室,并且紧接其后撞击所述基片,

其中,所述辅助气体源与所述子室流体连通,并且被配置成使所述辅助气体直接流入至所述子室中。

## 用于基片的射束处理的过程气体增强

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 根据37C.F.R.§1.78(a)(4),本申请要求于2014年9月5日提交的共同未决的美国临时申请第62/046,878号的权益和优先权,其全部内容通过引用明确地并入本文。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及射束处理,例如气体团簇离子束(GCIB)处理。

### 背景技术

[0004] 气体团簇离子束(GCIB)技术已经被证明是用于在包括微电子工件的工件上修改、蚀刻、清洁、平滑和形成薄膜的有用的处理技术。为了本讨论的目的,气体团簇是在标准温度和压力的条件下为气态的纳米尺寸的材料聚集体。这种气体团簇可以在高压气体从喷嘴膨胀到真空中通过单独的气体原子(或分子)的凝结而形成,并且它们可以由包括几个到几千个或更多的原子/分子的聚集体构成,所述几个到几千个或更多的原子/分子通过称为范德华力的弱原子间力松散地结合在一起。气体团簇可以通过电子轰击被电离,这允许使用电场加速气体团簇以形成可控制的射束能量的定向射束。

[0005] 可控能量的定向GCIB对工件的辐照可以用于根据对工件上的位置特定的剂量来处理工件。该技术被称为位置特定处理(location specific processing,LSP),其中,GCIB的处理剂量或停留时间通过调整扫描速度跨整个工件变化。因此,可以与另一位置不同地处理工件上的一个位置。

[0006] 在工业规模上工件的GCIB处理的几种新兴应用存在于半导体/微电子器件制造中。目前,随着先进CMOS(互补金属氧化物半导体)逻辑和存储器中的连续尺寸缩放,对尺寸变化性控制和材料操纵的要求同时升级并变得更具挑战性。因此,将GCIB处理插入工厂(fab)工作流程的机会正在扩大。然而,为了使GCIB处理成为可行和可持续的技术,实现方式必须确保在低的颗粒污染等的条件下对于吞吐量要求、材料选择性和过程产量的足够的处理速率。

### 发明内容

[0007] 本发明的实施方式涉及射束处理,例如GCIB处理。特别地,本发明的一些实施方式涉及GCIB蚀刻处理。此外,本发明的其他实施方式涉及具有减少的颗粒污染的GCIB处理。

[0008] 根据一个实施方式,描述了诸如气体团簇离子束(GCIB)处理系统的射束处理系统以及操作方法。特别地,描述了射束处理系统和操作方法。特别地,射束处理系统包括:具有喷嘴组件的射束源,该喷嘴组件被配置为通过喷嘴组件将主气体引入至真空容器,以便产生气体束,例如气体团簇束;以及可选地,电离器,其定位在喷嘴组件下游,并且被配置为电离气体束以产生经电离的气体束。射束处理系统还包括:处理室,基片定位在该处理室内以由气体束进行处理;以及辅助气体源,其中,辅助气体源包括:辅助气体供应系统,其输送辅助气体;以及辅助气体控制器,其可操作地控制注入到喷嘴组件下游的射束处理系统中的

辅助气体的流动。

[0009] 根据另一个实施方式，描述了一种处理基片的方法。该方法包括：在诸如气体团簇离子束(GCIB)处理系统的射束处理系统的处理室中提供基片；通过使主气体通过至少一个喷嘴膨胀到射束处理系统中来形成气体束，诸如GCIB；在所述至少一个喷嘴的出口下游的位置处将辅助气体供应到射束处理系统；以及独立于所述供应，将气体束辐照到基片的暴露表面上，以在辅助气体的存在下处理基片的暴露表面。

### 附图说明

- [0010] 在附图中：
- [0011] 图1是GCIB处理系统的图示；
- [0012] 图2是GCIB处理系统的另一个图示；
- [0013] 图3是GCIB处理系统的又一图示；
- [0014] 图4是根据实施方式的GCIB处理系统的一部分的另一图示；
- [0015] 图5是根据实施方式的GCIB处理系统的一部分的又一图示；以及
- [0016] 图6是示出根据另一实施方式的用于处理基片的方法的流程图。

### 具体实施方式

[0017] 在各个实施方式中描述了用于使用诸如气体团簇离子束(GCIB)处理的射束处理来处理基片上的层(包括含硅的、含Ge的、含金属的以及半导体的层)的系统和方法。相关领域技术人员将认识到，可以在没有特定细节中的一个或更多个的情况下或者采用其他替换和/或另外的方法、材料或部件来实践各个实施方式。在其他情况下，未详细示出或描述众所周知的结构、材料或操作以避免模糊本发明的各个实施方式的方面。类似地，为了说明的目的，阐述了特定数目、材料和配置以便提供对本发明的全面理解。然而，本发明可以在没有特定细节的情况下实践。此外，应理解的是，附图中示出的各个实施方式是说明性表现并且不必按比例绘制。

[0018] 贯穿本说明书中对“一个实施方式”或“实施方式”的引用意味着结合实施方式描述的特定特征、结构、材料或特性被包括在本发明的至少一个实施方式中，并且不表示它们存在于每个实施方式中。因此，贯穿本说明书的各个地方出现的短语“在一个实施方式中”或“在实施方式中”不一定涉及本发明的相同实施方式。此外，在一个或更多个实施方式中，特定特征、结构、材料或特性可以以任何合适的方式结合。可以包括各种另外的层和/或结构，以及/或者在另外的实施方式中省略已描述的特征。

[0019] 本文中所使用的“基片”大体上涉及根据本发明进行处理的对象。基片可以包括器件的任何材料部分或结构，特别是半导体或其他电子器件，并且可以例如是基底基片结构，例如半导体晶片或者基底基片结构上的或覆盖基底基片结构的层(例如，薄膜)。因此，基片不旨在受限于任何特定的基底结构、在下面的层或上面的层，被图案化或未被图案化，并且更确切地说，基片被设想包括任何这样的层或基底结构，以及层和/或基底结构的任意组合。以下描述可以参考特定类型的基片，但是这仅用于说明的目的并且不是限制性的。

[0020] 如上面部分所述，过程产量、速率、选择性、轮廓控制(包括CD(临界尺寸)控制)以及表面粗糙度提供了用于确定成功的射束处理(例如GCIB处理)的基本度量以及其他处理

结果。为了改善射束处理性能和稳定性,本文提供了几个实施方式。

[0021] 因此,根据各个实施方式,描述了用气体束处理基片的系统和方法。在整个说明书中,描述了用于处理基片(例如半导体工件或微电子器件工件)的气体团簇离子束(GCIB)的形成、使用和增强。然而,该描述不限于GCIB处理系统的范围。更一般地,下面描述的各个实施方式涉及被配置成形成气体束的射束处理系统。气体束包括但不限于粒子束、带电粒子束、气体团簇束(GCB)、气体团簇离子束(GCIB)、或其组合、或其任意部分。可以使用带电和/或不带电的气体束的任何部分来处理基片。气体束可以包括电离物质(species)、中性物质或其混合物。气体束可以包括原子物质、分子物质、团簇物质或其混合物。在一个示例中,气体束可以包括未被电离的GCB。在另一个示例中,气体束可以包括已被电离的GCIB。在又一个实施方式中,可以分离并且引导GCIB的电离或带电成分以处理基片,或者可替选地,可以分离并且引导GCIB的中性成分以处理基片。

[0022] 现在参照附图,其中,贯穿多个视图,相同的附图标记表示相应的部分,图1提供了根据实施方式的用于处理基片的GCIB处理系统100的示意图。GCIB处理系统100包括真空容器102、基片保持器150(待处理的基片152附着于其上)以及真空泵系统170A、170B和170C。基片152可以是半导体基片、晶片、平板显示器(FPD)、液晶显示器(LCD)或任何其他工件。GCIB处理系统100配置成产生用于处理基片152的GCIB。

[0023] 仍参照图1中的GCIB处理系统100,真空容器102包括三个连通室,即,源室104、电离/加速室106和处理室108,以提供降压封闭。该三个室分别通过真空泵系统170A、170B和170C被抽吸至适当的操作压力。在所述三个连通室104、106、108中,气体团簇束可以在第一室(源室104)中形成,同时GCIB可以在第二室(电离/加速室106)中形成,其中气体团簇束被电离并且加速。然后,在第三室(处理室108)中,经加速的GCIB可以被用于处理基片152。

[0024] 如图1中所示,GCIB处理系统100可以包括配置成将一种或更多种气体或气体的混合物引入至真空容器102的一个或更多个气体源。例如,存储在第一气体源111中的第一气体组合物被容许在压力下穿过第一气体控制阀113A至一个或更多个气体计量阀113。另外,例如,存储在第二气体源112中的第二气体组合物被容许在压力下穿过第二气体控制阀113B至一个或更多个气体计量阀113。此外,例如,第一气体组合物或第二气体组合物或两者可以包括可压缩的惰性气体、载体气体或稀释气体。例如,惰性气体、载体气体或稀释气体可以包括稀有气体,即,He、Ne、Ar、Kr、Xe或Rn。

[0025] 此外,第一气体源111和第二气体源112可以被单独使用或者彼此结合使用以产生电离的团簇。材料组合物可以包括期望与材料层反应或期望被引入至材料层的元素的基本原子或分子物质。

[0026] 包括第一气体组合物或第二气体组合物或两者的高压、可压缩的气体被引入穿过气体供给管114进入停滞室116中,并且通过适当成形的喷嘴110被喷射进压力大幅降低的真空中。由于高压、可压缩的气体从停滞室116扩散至源室104的较低压力区域,因此气体速率加速至超音速并且气体团簇束118从喷嘴110射出。

[0027] 喷流由于静焰的固有冷却被交换成动能(这由喷流的膨胀产生),导致了气体喷流的一部分压缩并且形成具有团簇的气体团簇束118,每个团簇由数个至数千个弱束缚原子或分子组成。位于源室104与电离/加速室106之间的喷嘴110的出口的下游的气体分流器(gas skimmer)120部分地使在气体团簇束118的周边边缘上的气体分子(其可能未被压缩

成团簇)与在气体团簇束118的核心处的气体分子(其可能已经形成团簇)分离。除其他原因以外,选择气体团簇束118的一部分可以使较高压力可能有害的下游区域(例如,电离器122以及处理室108)中的压力降低。此外,气体分流器120限定了进入电离/加速室106的气体团簇束的初始尺寸。

[0028] GCIB处理系统100还可以包括具有一个或更多个分流器开口的多个喷嘴。在于2009年4月23日提交的标题为“Multiple Nozzle Gas Cluster Ion Beam System”的第2010/0193701A1号美国专利申请公开以及于2010年3月26日提交的标题为“Multiple Nozzle Gas Cluster Ion Beam Processing System and Method of Operating”的第2010/0193472A1号美国专利申请公开中提供了关于多个气体团簇离子束系统的设计的另外的细节,所述专利申请公开的全部内容通过引用合并到本文中。

[0029] 在气体团簇束118已经在源室104中形成之后,气体团簇束118中的组分气体团簇被电离器122电离以形成GCIB 128。电离器122可以包括:电子冲击电离器,其从一个或更多个细丝124产生电子,所产生的电子被加速并且引导以便与在电离/加速室106内部的气体团簇束118中的气体团簇碰撞。当与气体团簇碰撞冲击时,足够能量的电子从气体团簇内的分子中喷射出电子以生成电离的分子。气体团簇的电离可以导致通常具有净正电荷的大量的带电气体团簇离子。

[0030] 如图1中所示,射束电子电路130被用于电离、提取、加速和聚焦GCIB 128。射束电子电路130包括提供电压 $V_F$ 以加热电离器细丝124的细丝电源136。

[0031] 另外,射束电子电路130包括在电离/加速室106中的从电离器122提取团簇离子的一组适当偏置的高压电极126。然后,高压电极126将所提取的团簇离子加速至期望的能量并且将它们聚焦以限定GCIB 128。GCIB 128中的团簇离子的动能通常从约1000电子伏特(1keV)至数十keV变化。例如,GCIB 128可以被加速至1keV至100keV。

[0032] 如图1中所示,射束电子电路130还包括阳极电源134,阳极电源134向电离器122的阳极提供电压 $V_A$ ,用于加速从电离器细丝124发射的电子并且导致电子轰击气体团簇束118中的气体团簇,这产生了团簇离子。

[0033] 另外,如图1中所示,射束电子电路130包括提取电源138,提取电源138提供电压 $V_{EE}$ 以使高压电极126中的至少之一偏置,以从电离器122的电离区域提取离子并且形成GCIB 128。例如,提取电源138向高压电极126的第一电极提供小于或等于电离器122的阳极电压的电压。

[0034] 此外,射束电子电路130可以包括加速器电源140,加速器电源140提供电压 $V_{ACC}$ 以相对于电离器122使高压电极126中之一偏置,以便产生等于约 $V_{ACC}$ 电子伏特(eV)的总的GCIB加速能量。例如,加速器电源140向高压电极126的第二电极提供小于或等于电离器122的阳极电压和第一电极的提取电压的电压。

[0035] 此外,射束电子电路130可以包括透镜电源142、144,透镜电源142、144可以被设置成采用电势(例如, $V_{L1}$ 和 $V_{L2}$ )使高压电极126中的一些偏置以聚焦GCIB 128。例如,透镜电源142可以向高压电极126的第三电极提供小于或等于电离器122的阳极电压、第一电极的提取电压和第二电极的加速器电压的电压,并且透镜电源144可以向高压电极126的第四电极提供小于或等于电离器122的阳极电压、第一电极的提取电压、第二电极的加速器电压和第三电极的第一透镜电压的电压。

[0036] 应指出,可以使用关于电离和提取方案两者的许多变型。虽然在此描述的方案对于说明的目的是有用的,但是另一提取方案涉及在V<sub>ACC</sub>下布置(一个或更多个)提取电极(或者提取光学器件)的第一元件以及电离器。这通常需要用于电离器电源的控制电压的光纤设计,而且创建更简单的整体光学器件组(train)。本文中描述的本发明是有用的,而无论电离器和提取透镜偏置的细节如何。

[0037] 高压电极126的下游的电离/加速室106中的射束滤波器146可以用于消除来自GCIB 128的单体或单体与光团簇离子,以限定进入处理室108的经滤波的处理过的GCIB 128A。在一个实施方式中,射束滤波器146大幅减小了具有100或更少原子或分子或两者的团簇的数目。射束滤波器可以包括用于跨GCIB 128施加磁场以辅助滤波过程的磁性组件。

[0038] 仍参照图1,射束闸门(beam gate)148被设置在电离/加速室106中的GCIB 128的路径中。射束闸门148具有:打开状态,在打开状态下,GCIB 128被允许从电离/加速室106传递至处理室108,以限定处理过的GCIB 128A;以及关闭状态,在关闭状态下,GCIB 128被阻挡进入处理室108。控制电缆将来自控制系统190的控制信号引导至射束闸门148。控制信号可控制地在打开状态或关闭状态之间切换射束闸门148。

[0039] 基片152可以为晶片或半导体晶片、平板显示器(FPD)、液晶显示器(LCD)或待通过GCIB处理进行处理的其他基片,并且基片152被设置在处理室108中的处理过的GCIB 128A的路径中。由于大多数应用设想大基片的处理具有在空间上均匀的结果,因此扫描系统可能被期望跨大面积均匀地扫描处理过的GCIB 128A以产生空间均质结果。

[0040] X扫描执行器160提供了基片保持器150在X扫描运动方向(进入和离开纸平面)上的线性运动。Y扫描执行器162提供了基片保持器150在Y扫描运动方向164(其通常与X扫描运动正交)上的线性运动。X扫描运动和Y扫描运动的组合以光栅状扫描运动将由基片保持器150保持的基片152平移穿过处理过的GCIB 128A,以使得基片152的表面由用于处理基片152的处理过的GCIB 128A均匀(或以所设计的不同方式)辐照。

[0041] 基片保持器150以相对于处理过的GCIB 128A的轴线成一定角度的方式来布置基片152,使得处理过的GCIB 128A相对于基片152表面具有射束入射角166。射束入射角166可以为90度或一些其他角度,但是通常为90度或接近90度。在Y扫描期间,基片152和基片保持器150从所示出的位置分别移动至通过指示符152A和150A指示的替代位置“A”。注意,在所述两个位置之间移动中,基片152通过处理过的GCIB128A来扫描,并且在两个极限位置中,基片152被完全移动离开处理过的GCIB 128A的路径(过扫描)。虽然在图1中未明确示出,但是类似扫描和过扫描沿(通常)正交的X扫描运动方向(进入和离开纸平面)执行。

[0042] 射束电流传感器180可以沿处理过的GCIB 128A的路径被设置成远于基片保持器150,以便当基片保持器150被扫描离开处理过的GCIB128A的路径时截取处理过的GCIB 128A的样本。射束电流传感器180通常为法拉第杯等,其除了射束进入开口以外,均是封闭的,并且通常通过电绝缘座182被固定至真空容器102的壁。

[0043] 如图1中所示,控制系统190通过电缆连接至X扫描执行器160和Y扫描执行器162,并且控制X扫描执行器160和Y扫描执行器162,以便将基片152放置在处理过的GCIB 128A中或者放置在处理过的GCIB128A的外部,并且相对于处理过的GCIB 128A均匀地扫描基片152,以通过处理过的GCIB 128A实现期望的基片152的处理。控制系统190接收通过电缆方式由射束电流传感器180收集的采样射束电流,从而监测GCIB并且当已经传送预定剂量时,

通过从处理过的GCIB 128A移除基片252来控制被基片152接收的GCIB剂量。

[0044] 在图2中所示的实施方式中,GCIB处理系统200可以类似于图1的实施方式,并且还包括沿两个轴可操作地保持并且移动基片252、相对于处理过的GCIB 128A有效地扫描基片252的X-Y定位台253。例如,X运动可以包括移动进入和离开纸平面,并且Y运动可以包括沿方向264的运动。

[0045] 处理过的GCIB 128A在基片252的表面上的投射冲击区域286处并且相对于基片252的表面以射束入射角266冲击基片252。通过X-Y运动,X-Y定位台253可以将基片252的表面的每个部分定位在处理过的GCIB 128A的路径中,使得表面的每个区域可以与用于由处理过的GCIB 128A处理的投射冲击区域286一致。X-Y控制器262通过电缆向X-Y定位台253提供电信号,以控制沿X轴和Y轴方向中的每个方向的位置和速率。X-Y控制器262通过电缆从控制系统190接收控制信号,并且X-Y控制器262能够通过电缆由控制系统190操作。X-Y定位台253根据常规X-Y台定位技术通过连续运动或通过步进式运动来移动以在投射冲击区域286内定位基片252的不同区域。在一个实施方式中,X-Y定位台253能够以编程的方式由控制系统190操作,以在可编程速率下通过由处理过的GCIB 128A处理的GCIB的投射冲击区域286来扫描基片252的任何部分。

[0046] 定位台253的基片保持表面254导电并且连接至由控制系统190操作的剂量测定处理器。定位台253的电绝缘层255使基片252和基片保持表面254与定位台253的基座部260隔离。通过冲击处理过的GCIB 128A而在基片252中被诱导的电荷被引导穿过基片252和基片保持表面254,并且信号通过定位台253耦合至控制系统190以进行剂量测量。剂量测量具有用于对GCIB电流积分的积分工具以确定GCIB处理剂量。在特定的情况下,有时被称为电子泛射(electron flood)的电子的目标中和源(未示出)可以用于中和处理过的GCIB 128A。在这样的情况下,法拉第杯(未示出,但是可以类似于图5中的射束电流传感器180)可以用于确保精确剂量测定,即使添加电荷源也是如此,原因在于典型的法拉第杯仅允许高能量正性离子进入并且被测量。

[0047] 在操作中,控制系统190发出信号来打开射束闸门148,以采用处理过的GCIB 128A辐照基片252。控制系统190监测由基片252收集的GCIB电流的测量值,以便计算基片252接收到的积累剂量。当基片252接收到的剂量到达预定剂量时,控制系统190关闭射束闸门148,并且基片252的处理完成。基于针对基片252的给定区域接收到的GCIB剂量的测量值,控制系统190可以调整扫描速率以便实现适当射束停延时间,以处理基片252的不同区域。

[0048] 可替选地,处理过的GCIB 128A可以以恒定速率以固定模式跨基片252的表面进行扫描;然而,GCIB强度被调制(可以被称为Z轴调制)以传送有意非均匀的剂量至样本。GCIB强度可以通过以下各种方法中的任何方法在GCIB处理系统100'中被调制,所述各种方法包括:改变来自GCIB供应源的气体流;通过改变细丝电压(filament voltage)VF或改变阳极电压VA来调制电离器122;通过改变透镜电压VL1和/或VL2来调制透镜聚焦;或者采用可变射束阻挡件、可调整快门或可变孔来机械地阻挡GCIB的一部分。调制变化可以是连续的模拟变化或可以是时间调制的开关或闸。

[0049] 处理室108还可以包括现场度量系统。例如,现场度量系统可以包括光学诊断系统,光学诊断系统具有光发送器280和光接收器282,光发送器280和光接收器282分别被配置成采用入射光信号284照明基片252以及从基片252接收散射的光信号288。光学诊断系统

包括光学窗口以允许入射光信号284和散射的光信号288进入并且离开处理室108。此外,光发送器280和光接收器282可以分别包括发送光学器件和接收光学器件。光发送器280接收并且响应于来自控制系统190的控制电信号。光接收器282将测量信号返回至控制系统190。

[0050] 现场度量系统可以包括配置成监测GCIB处理的进展的任何仪器。根据一个实施方式,现场度量系统可以组成光学散射测量系统。散射测量系统可以包括散射仪,其合并了射束轮廓椭偏仪(椭偏仪)和射束轮廓反射计(反射计),其可商购自Therma-Wave公司(加州菲蒙市,瑞莱思路1250号,94539)或Nanometrics公司(加州米尔皮塔斯,巴克艾路1550号,95035)。

[0051] 例如,现场度量系统可以包括配置成测量由GCIB处理系统100'执行处理过程所产生的过程性能数据的集成光学数字轮廓测定(iODP)散射测量模块。度量系统例如可以测量或监测由处理过程产生的度量数据。度量数据例如可以被用于确定表征处理过程的过程性能数据,例如,处理速率、相对处理速率、特征轮廓角、临界尺寸、特征厚度或深度、特征形状等。例如,在定向地在基片上沉积材料的过程中,过程性能数据可以包括临界尺寸(CD)(例如,元件(即,通孔、线等)中的顶部CD、中间CD和底部CD)、特征深度、材料厚度、侧壁角、侧壁形状、沉积速率、相对沉积速率、其任意参数的空间分布、表征其任意空间分布的一致性的参数等。经由来自控制系统190的控制信号操作X-Y定位台253,现场度量系统可以绘制基片252的一个或更多个特性。

[0052] 在图3中所示的实施方式中,GCIB处理系统300可以类似于图1的实施方式,并且还包括例如定位在电离/加速室106的出口区域处或附近的压力单元室350。压力单元室350包括:惰性气体源352,其被配置成向压力单元室350提供背景气体以提高压力单元室350中的压力;以及压力传感器354,其被配置成测量压力单元室350中的升高的压力。

[0053] 压力单元室350可以配置成修改GCIB 128的射束能量分布以产生修改的处理过的GCIB 128A'。射束能量分布的这种修改通过沿GCIB路径引导GCIB 128穿过压力单元室350内的增压区域使得GCIB的至少一部分横穿增压区域来实现。对于射束能量分布的修改程度可以由沿着GCIB路径的所述至少一部分的压力-距离积分来表征,其中距离(或压力单元室350的长度)通过路径长度(d)来表示。当压力-距离积分的值增大(通过增大压力和/或路径长度(d))时,射束能量分布被展宽并且尖峰能量降低。当压力-距离积分的值减小(通过减小压力和/或路径长度(d))时,射束能量分布变窄并且尖峰能量增大。可以根据标题为“Method and apparatus for improved processing with a gas-cluster ion beam”的第7,060,989号美国专利来确定压力单元的设计的另外的细节,其全部内容通过引用合并到本文中。

[0054] 控制系统190包括微处理器、存储器和数字I/O端口,其能够生成足以传送并且激活至GCIB处理系统100(或100',100")的输入的控制电压,以及监测来自GCIB处理系统100(或100',100")的输出。此外,控制系统190可以耦接至如下装置并且可以与如下装置交换信息:真空泵系统170A、170B和170C、第一气体源111、第二气体源112、第一气体控制阀113A、第二气体控制阀113B、射束电子电路130、射束滤波器146、射束闸门148、X扫描执行器160、Y扫描执行器162以及射束电流传感器180。例如,存储在存储器中的程序可以用于根据处理方法激活至GCIB处理系统100的前述部件的输入,以便对基片152执行GCIB处理。

[0055] 然而,控制系统190可以被实现为响应于处理器执行被包含在存储器中的一个或

更多个指令中的一个或更多个序列来执行本发明的基于微处理器的处理步骤的一部分或全部的通用计算机系统。可以从另一计算机可读介质(例如,硬盘或可移除介质驱动器)将这样的指令读入控制器存储器中。多处理布置中的一个或更多个处理器还可以被实施为控制器微处理器以执行被包含在主存储器中的指令序列。在可替选的实施方式中,硬接线的电路可以用于替代软件指令或与软件指令结合使用。因此,实施方式不限于硬件电路和软件的任何特定组合。

[0056] 控制系统190可以用于配置任意数目的处理元件,如上所述,并且控制系统190可以收集、提供、处理、存储和显示来自处理元件的数据。控制系统190可以包括许多应用程序以及许多控制器,以控制处理元件中的一个或更多个。例如,控制系统190可以包括图形用户界面(GUI)部件(未示出),GUI部件可以提供能够使用户监视和/或控制一个或更多个处理元件的界面。

[0057] 控制系统190可以相对于GCIB处理系统100(或100',100")被本地定位,或者其可以相对于GCIB处理系统100(或100',100")被远程定位。例如,控制系统190可以使用直接连接、内联网和/或因特网与GCIB处理系统100交换数据。控制系统190可以例如在客户地点(即,装置制造商等)处耦接至内联网,或者其可以例如在销售地点(即,设备制造商)处耦接至内联网。可替选地或另外地,控制系统190可以耦接至因特网。此外,另一计算机(即,控制器、服务器等)可以访问控制系统190以经由直接连接、内联网和/或因特网交换数据。

[0058] 基片152(或252)可以经由夹持系统(未示出)(例如,机械夹持系统或电夹持系统(例如,静电夹持系统))附着至基片保持器150(或基片保持器250)。此外,基片保持器150(或250)可以包括被配置成调整和/或控制基片保持器150(或250)和基片152(或252)的温度的加热系统(未示出)或冷却系统(未示出)。

[0059] 真空泵系统170A、170B和170C可以包括能够具有高达约5000升每秒(以及更大的)泵送速度的涡轮分子真空泵(TMP)以及用于对室压力节流的闸门阀。在常规的真空处理装置中,可以采用1000升每秒至3000升每秒的TMP。TMP用于低压处理,通常小于约50mTorr。虽然未示出,但是可以理解,压力单元室350还可以包括真空泵送系统。此外,用于监测室压力的装置(未示出)可以耦接至真空容器102或三个真空室104、106、108中的任意真空室。压力测量装置例如可以为电容压力计或电离规。

[0060] 现在参照图4,根据另一实施方式描述了气体团簇离子束(GCIB)处理系统400。GCIB处理系统400可以包括图1至图3的GCIB处理系统中描述的任何部件或部件组合。特别地,GCIB处理系统400包括具有喷嘴组件410的GCIB源401,该喷嘴组件410被配置为通过喷嘴组件410将主气体引入真空容器402以产生气体团簇束。电离器412定位在喷嘴组件410下游,并且被配置为电离气体团簇束以产生GCIB。

[0061] GCIB处理系统400还包括基片保持器450,待处理的基片452被附着在其上并且在真空容器402内被扫描。真空容器402包括三个连通室,即源室404、电离/加速室406和处理室408以提供降压封闭。所述三个室通过一个或更多个真空泵系统被抽吸至适当的操作压力。在所述三个连通室404、406、408中,可以在第一室(源室404)中形成气体团簇束,而可以在第二室(电离/加速室406)中形成GCIB,其中气体团簇束被电离并且加速。然后,在第三室(处理室408)中,经加速的GCIB可以用于处理基片452。真空容器402还可以包括压力单元室455。压力单元室455耦接至惰性气体供应系统(在图4中未示出),其向压力单元室455供应

背景气体以用于升高压力单元室455中的压力。

[0062] GCIB处理系统400还包括辅助气体源(425、435、445)，其中辅助气体源(425、435、445)包括输送辅助气体的辅助气体供给系统(422、432、442)，以及可操作地控制注入到喷嘴组件410下游的GCIB处理系统400中的辅助气体的流动的辅助气体控制器(420、430、440)。在一个实施方式中，辅助气体源425布置成将辅助气体输送到在喷嘴组件410的出口411下游的源室404中。在另一个实施方式中，辅助气体源435布置成将辅助气体输送到分流器412下游的电离/加速室406中。在另一个实施方式中，辅助气体源445布置成将辅助气体输送到最终孔460下游的处理室408中。在另一个实施方式中，可以使用辅助气体源(425、435、445)的任意组合。

[0063] 在另一实施方式中，辅助气体源445布置成将辅助气体输送到最终孔460下游的处理室408中，并沿着在与基片452的暴露表面间隔开分离距离470的位置处与GCIB相交的路径(例如，辅助气体在GCIB与基片的冲击区域处或附近被引导至处理室408)。分离距离470可以是小于10mm、小于5mm、小于2mm或基本上为零的距离(辅助气体可以是在基片的暴露表面处与GCIB相交的喷流或射束)。

[0064] 辅助气体控制器(420、430、440)可以耦接至一个或更多个流量控制阀、流量传感器或压力传感器。并且，辅助气体控制器(420、430、440)可以控制辅助气体被注入处的压力(例如，总/滞止压力)、或辅助气体的流速或其组合。

[0065] 现在参照图5，根据另一个实施方式描述了气体团簇离子束(GCIB)处理系统500。GCIB处理系统500可以包括图1至图3的GCIB处理系统中描述的任何部件或部件组合。特别地，GCIB处理系统500还包括沿着GCIB的路径设置在处理室408内的子室550，其中子室550具有入口552和出口554，GCIB通过入口552进入子室550，并且GCIB通过出口554离开子室550并且紧接其后撞击基片452。如图所示，辅助气体源545与子室550流体连通，并配置成使辅助气体直接流入子室550。子室550可以至少部分地包含或限制GCIB与辅助气体的相互作用。在另一个实施方式中，子室550可以耦接至真空管线和泵(未示出)，以允许子室内部的独立泵送。在另一个实施方式中，子室550可以耦接至一个或更多个传感器(例如，压力传感器等)，以允许对子室550的内部中的环境的特性(例如压力)进行采样。在其他实施方式中，子室550可以耦接至多个气体源。

[0066] GCIB处理系统400或500可以用于蚀刻、生长、沉积、掺杂、修改或平滑基片452上的层或结构。在一个示例中，GCIB处理系统400或500包括GCIB蚀刻系统，其中辅助气体供应系统(422、432、442、542)输送与蚀刻GCIB反应的辅助气体，或由使用蚀刻GCIB蚀刻基片452产生的蚀刻副产物，或两者。

[0067] 如图6所示，根据实施方式描述操作GCIB处理系统(例如系统100、200、300、400或500)的方法。流程图600中所示的方法开始于610，其中在气体团簇离子束(GCIB)系统的处理室中提供基片。GCIB处理系统可以包括下面在图1、图2、图3、图4或图5中描述的GCIB处理系统(100、200、300、400或500)中的任何一个、或其任意组合。

[0068] 该方法继续将基片牢固地保持在GCIB处理系统的降压环境内。可以控制或可以不控制基片的温度。例如，基片可以在GCIB处理过程期间被加热或冷却。另外，基片可以包括导电材料、半导电材料、或介电材料、或其两种或更多种的任意组合。例如，基片可以包括半导体材料，例如硅、绝缘体上硅(SOI)、锗或其组合。另外，例如，基片可以包括晶体硅。

[0069] 此外,基片可以包括含Si材料和/或含Ge材料。含Si材料可以包括Si以及选自由O、N、C和Ge组成的组中的至少一种元素。含Ge材料可以包括Ge以及选自由O、N、C和Si组成的组中的至少一种元素。

[0070] 例如,基片可以包括硅、掺杂硅、未掺杂硅、非晶硅、单晶硅、多晶硅、硅氧化物( $\text{SiO}_x$ ,其中 $x>0$ ;例如, $\text{SiO}_2$ )、硅氮化物( $\text{SiN}_y$ ,其中 $y>0$ ;例如, $\text{SiN}_{1.33}$ 或 $\text{Si}_3\text{N}_4$ )、硅碳化物( $\text{SiC}_z$ ,其中 $z>0$ )、硅氮氧化物( $\text{SiO}_x\text{N}_y$ ,其中 $x,y>0$ )、硅碳氧化物( $\text{SiO}_x\text{C}_y$ ,其中 $x,y>0$ )、硅碳氮化物( $\text{SiC}_x\text{N}_y$ ,其中 $x,y>0$ )或硅锗( $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ ,其中 $x$ 为Si的原子分数, $1-x$ 为Ge的原子分数,并且 $0<1-x<1$ )。可以采用选自由B、C、H、N、P、As、Sb、O、S、Se、Te、F、Cl、Br和I组成的组中的元素对以上列出的材料中的任何一种材料进行掺杂或注入。此外,可以采用金属、碱金属、碱土金属、稀土金属、过渡金属或后过渡金属来对以上列出的材料中的任何一种材料进行掺杂或注入。此外,以上列出的材料中的任何一种材料可以为非晶相或晶体相。

[0071] 另外,基片可以包括含金属的材料。含金属的材料可以包括碱金属、碱土金属、过渡金属、后过渡金属、贵金属或稀土金属。含金属的材料可以包括选自由Sc、Y、Zr、Hf、Nb、Ta、V、Cr、Mo、W、Mn、Re、Fe、Ru、Co、Rh、Ni、Pd、Pt、Cu、Ag、Au、Zn、Cd、B、Al、Ga、In和Sn组成的组中的过渡金属或后过渡金属。含金属的材料可以包括金属、金属合金、金属氧化物、金属氮化物、金属碳化物、金属硅化物、金属锗化物、金属硫化物等。

[0072] 此外,基片还可以包括半导体材料。半导体材料可以包括化合物半导体,例如,III-V族化合物(例如,GaAs、GaN、GaP、InAs、InN、InP等)、II-V族化合物(例如,Cd<sub>3</sub>P<sub>2</sub>等)或者II-VI族化合物(例如,ZnO、ZnSe、ZnS等)(II、III、V、VI族指代元素周期表中的经典或者老的IUPAC表示法;根据修改的或新的IUPAC表示法,这些族将分别指代2、13、15、16族)。基片还可以包括硫族化物(例如,硫化物、硒化物、碲化物)。

[0073] 此外,基片可以包括光致抗蚀剂(例如,以上列出的抗蚀剂材料之一)、软掩模层、硬掩模层、抗反射涂覆(ARC)层、有机平坦层(OPL)、或有机介电质层(ODL)或者其两种或更多种的组合。

[0074] 在611中,通过使主气体通过至少一个喷嘴膨胀到GCIB处理系统中来形成GCIB。主气体包括含有选自由He、Ne、Ar、Kr、Xe、B、C、H、Si、Ge、N、P、As、O、S、F、Cl和Br组成的组中的至少一种原子种类的加压气体混合物。

[0075] 作为示例,主气体可以包含至少一种蚀刻化合物或气体。所述至少一种蚀刻气体可以包括卤素元素。所述至少一种蚀刻气体可以包括卤素元素和选自由C、H、N和S组成的组中的一种或更多种元素。所述至少一种蚀刻气体可以包括卤素元素和选自由Si和Ge组成的组中的一种或更多种元素。

[0076] 例如,所述至少一种蚀刻气体可以包括F<sub>2</sub>、Cl<sub>2</sub>、Br<sub>2</sub>、NF<sub>3</sub>或SF<sub>6</sub>。另外,例如,所述至少一种蚀刻气体可以包括卤化物,例如,HF、HCl、HBr或HI。此外,例如,所述至少一种蚀刻气体可以包括卤代硅烷或卤代锗烷,例如单取代的卤代硅烷或卤代锗烷(SiH<sub>3</sub>F、GeH<sub>3</sub>F等)、双取代的卤代硅烷或卤代锗烷(SiH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、GeH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>等)、三取代的卤代硅烷或卤代锗烷(SiHF<sub>3</sub>、GeHF<sub>3</sub>等)或四取代的卤代硅烷或卤代锗烷(SiF<sub>4</sub>、GeF<sub>4</sub>、SiCl<sub>4</sub>、GeCl<sub>4</sub>、SiBr<sub>4</sub>或GeBr<sub>4</sub>)。此外,例如,所述至少一种蚀刻气体可以包括卤代甲烷,例如,单取代卤代甲烷(例如,CH<sub>3</sub>F、CH<sub>3</sub>C1、CH<sub>3</sub>Br、CH<sub>3</sub>I)、双取代卤代甲烷(例如,CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、CH<sub>2</sub>C1F、CH<sub>2</sub>BrF、CH<sub>2</sub>FI、CH<sub>2</sub>C1<sub>2</sub>、CH<sub>2</sub>BrC1、CH<sub>2</sub>C1I、CH<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>、CH<sub>2</sub>BrI、CH<sub>2</sub>I<sub>2</sub>)、三取代卤代甲烷(例如,CHF<sub>3</sub>、CHC1F<sub>2</sub>、CHBrF<sub>2</sub>、CHF<sub>2</sub>I、CHC1<sub>2</sub>F、

CHBrClF、CHClFI、CHBr<sub>2</sub>F、CHBrFI、CHFI<sub>2</sub>、CHCl<sub>3</sub>、CHBrCl<sub>2</sub>、CHCl<sub>2</sub>I、CHBrClI、CHClI<sub>2</sub>、CHBr<sub>3</sub>、CHBr<sub>2</sub>I、CHBrI<sub>2</sub>、CHI<sub>3</sub>) 或四取代卤代甲烷(例如, CF<sub>4</sub>、CClF<sub>3</sub>、CBrF<sub>3</sub>、CF<sub>3</sub>I、CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、CBrClF<sub>2</sub>、CClF<sub>2</sub>I、CBr<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、CBrF<sub>2</sub>I、CF<sub>2</sub>I<sub>2</sub>、CCl<sub>3</sub>F、CBrCl<sub>2</sub>F、CCl<sub>2</sub>FI、CBr<sub>2</sub>C1F、CBrC1FI、CClFI<sub>2</sub>、CBr<sub>3</sub>F、CBr<sub>2</sub>FI、CBrFI<sub>2</sub>、CFI<sub>3</sub>、CCl<sub>4</sub>、CBrCl<sub>3</sub>、CCl<sub>3</sub>I、CBr<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>、CBrCl<sub>2</sub>I、CCl<sub>2</sub>I<sub>2</sub>、CBr<sub>3</sub>Cl、CBr<sub>2</sub>ClI、CBrClI<sub>2</sub>、CClI<sub>3</sub>、CBr<sub>4</sub>、CBr<sub>3</sub>I、CBr<sub>2</sub>I<sub>2</sub>、CBrI<sub>3</sub>、C<sub>14</sub>)。

[0077] 为了形成GCIB, 蚀刻气体的成分应当被选择成在相对高的气压(例如,一个大气压或更高)下以气相单独存在或者与载气(例如,稀有气体元素或氮气)结合存在。

[0078] 在一个实施方式中,当蚀刻含Si和/或含Ge材料时,所述至少一种蚀刻气体包括选自由F、Cl和Br组成的组中的卤族元素。所述至少一种蚀刻气体还可以包括Si、Ge、N、S、C或H、或C和H两者。例如,所述至少一种蚀刻气体可以包括卤化物、卤代硅烷、卤代锗烷或卤代甲烷。另外,例如,所述至少一种蚀刻气体可以包括SiF<sub>4</sub>、CHF<sub>3</sub>、SF<sub>6</sub>、NF<sub>3</sub>、F<sub>2</sub>、Cl<sub>2</sub>、Br<sub>2</sub>、HF、HCl、HBr、CClF<sub>3</sub>、CBrF<sub>3</sub>、CHClF<sub>2</sub>、或C<sub>2</sub>C1F<sub>5</sub>、或其两种或更多种的任意组合。

[0079] 在另一实施方式中,当蚀刻含Si和/或含Ge材料时,所述至少一种蚀刻气体包括两种不同的卤族元素。第一卤族元素可以选自由Cl和Br组成的组,并且第二卤族元素可以包括F。所述至少一种蚀刻气体还可以包括C或H或者C与H两者。例如,所述至少一种蚀刻气体可以包括卤代甲烷。另外,例如,所述至少一种蚀刻气体可以包括CClF<sub>3</sub>、CBrF<sub>3</sub>、CHClF<sub>2</sub>、或C<sub>2</sub>C1F<sub>5</sub>、或其两种或更多种的任意组合。

[0080] 在另一实施方式中,当蚀刻具有Si和选自由O、C、N和Ge组成的组中的一种或更多种元素的含Si材料时,所述至少一种蚀刻气体包括卤素元素和选自由Si、Ge、N、S、C和H组成的组中的一种或更多种元素。例如,蚀刻气体可以包括卤代硅烷或卤代甲烷。另外,例如,蚀刻气体可以包括SiF<sub>4</sub>、CH<sub>3</sub>F、CH<sub>3</sub>C1、CH<sub>3</sub>Br、CHF<sub>3</sub>、CHClF<sub>2</sub>、CHBrF<sub>2</sub>、CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、CH<sub>2</sub>C1F、CH<sub>2</sub>BrF、CHCl<sub>2</sub>F、CHBr<sub>2</sub>F、CHCl<sub>3</sub>、CHBrCl<sub>2</sub>、CHBr<sub>2</sub>C1或CHBr<sub>3</sub>、或其两种或更多种的任意组合。

[0081] 在另一个实施方式中,当蚀刻含金属材料时,蚀刻气体包括选自由F、Cl和Br组成的组中的卤族元素。蚀刻气体还可以包括Si、Ge、N、S、C或H、或者C和H两者。例如,蚀刻气体可以包括卤化物、卤代硅烷、卤代锗烷或卤代甲烷。另外,例如,蚀刻气体可以包括SF<sub>6</sub>、NF<sub>3</sub>、F<sub>2</sub>、Cl<sub>2</sub>、Br<sub>2</sub>、HF、HCl、HBr、CClF<sub>3</sub>、CBrF<sub>3</sub>、CHClF<sub>2</sub>、或C<sub>2</sub>C1F<sub>5</sub>、或其两种或更多种的任意组合。

[0082] 在另一实施方式中,当蚀刻含金属材料时,蚀刻气体包括两种不同的卤族元素。第一卤族元素可以选自由Cl和Br组成的组,并且第二卤族元素可以包括F。蚀刻气体还可以包括C或H或者C与H两者。例如,蚀刻气体可以包括卤代甲烷。另外,例如,蚀刻气体可以包括CClF<sub>3</sub>、CBrF<sub>3</sub>、CHClF<sub>2</sub>、或C<sub>2</sub>C1F<sub>5</sub>、或其两种或更多种的任意组合。

[0083] 在又一实施方式中,当蚀刻硫族化物材料时,蚀刻气体包括卤族元素。例如,蚀刻气体可以包括卤化物、卤代硅烷、卤代锗烷或卤代甲烷。另外,例如,蚀刻气体可以包括F<sub>2</sub>、Cl<sub>2</sub>、Br<sub>2</sub>、HF、HCl、HBr、NF<sub>3</sub>、SF<sub>6</sub>、SiF<sub>4</sub>、CH<sub>3</sub>F、CH<sub>3</sub>C1、CH<sub>3</sub>Br、CHF<sub>3</sub>、CHClF<sub>2</sub>、CHBrF<sub>2</sub>、CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、CH<sub>2</sub>C1F、CH<sub>2</sub>BrF、CHCl<sub>2</sub>F、CHBr<sub>2</sub>F、CHCl<sub>3</sub>、CHBrCl<sub>2</sub>、CHBr<sub>2</sub>C1或CHBr<sub>3</sub>、或其两种或更多种的任意组合。

[0084] 所述至少一种蚀刻气体可以包括第一蚀刻气体和第二蚀刻气体。在一个实施方式中,第一蚀刻气体包含Cl或Br,并且第二蚀刻气体包含F。例如,第一蚀刻气体可以包含Cl<sub>2</sub>,并且第二蚀刻气体可以包含NF<sub>3</sub>。在另一实施方式中,第一蚀刻气体包含卤代甲烷或卤化物,并且第二蚀刻气体包含F、Cl或Br。在另一实施方式中,第一蚀刻气体包含C、H和卤族元素,并且第二蚀刻气体包含F、Cl或Br。例如,第一蚀刻气体可以包含CHF<sub>3</sub>、CHCl<sub>3</sub>或CHBr<sub>3</sub>,并

且第二蚀刻气体可以包含SiF<sub>4</sub>、SF<sub>6</sub>、NF<sub>3</sub>或Cl<sub>2</sub>。第一蚀刻气体和第二蚀刻气体可以连续地引入至GCIB。可替选地,第一蚀刻气体和第二蚀刻气体可以可替选地并且相继地引入至GCIB。

[0085] 加压气体混合物还可以包括:含有卤族元素的化合物;含有F和C的化合物;含有H和C的化合物;含有C、H和F的化合物;含有Si和F的化合物;含有Ge和F的化合物;或其两种或更多种的任意组合。另外,加压气体混合物还可以包括含氯化合物、含氟化合物或含溴化合物。另外,加压气体混合物还可以包括含有选自由S、N、Si、Ge、C、F、H、Cl和Br组成的组中的一种或更多种元素的化合物。另外,加压气体混合物还可以包括含硅化合物、含锗化合物、含氮化合物、含氧化合物、或含碳化合物、或其两种或更多种的任意组合。此外,加压气体混合物还可以包括选自由B、C、H、Si、Ge、N、P、As、O、S、F、Cl和Br组成的组中的一种或更多种元素。此外,加压气体混合物还可以包括He、Ne、Ar、Kr、Xe、O<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、NH<sub>3</sub>、F<sub>2</sub>、HF、SF<sub>6</sub>或NF<sub>3</sub>、或其两种或更多种的任意组合。

[0086] 此外,GCIB可以由包括至少一种掺杂剂或用于沉积或生长薄膜的膜形成成分或其两种或更多种的任意组合的加压气体混合物生成。

[0087] 在另一实施方式中,GCIB可以通过交替地并且相继地使用含有蚀刻气体的第一加压气体混合物和含有膜形成气体的第二加压气体混合物来生成。在另外的实施方式中,可以在蚀刻期间调整GCIB的组成和/或滞止压力。

[0088] 在其他实施方式中,设置GCIB的GCIB处理条件的一个或更多个GCIB性质,以实现所述一个或更多个目标过程度量,例如目标蚀刻处理度量。为了实现以上指出的目标蚀刻处理度量,例如,蚀刻速率、蚀刻选择性、表面粗糙度控制、轮廓控制等,可以通过执行如下项来生成GCIB:选择射束加速势、一个或更多个射束聚焦势以及射束剂量;根据射束加速势对GCIB加速;根据所述一个或更多个射束聚焦势对GCIB聚焦;以及根据射束剂量将经加速的GCIB辐照在基片的至少一部分上。

[0089] 此外,除了这些GCIB性质之外,可以选择射束能量、射束能量分布、射束角分布、射束发散角、滞止压力、滞止温度、质量流率(mass flow rate)、团簇大小、团簇大小分布、射束大小、射束成分、射束电极势、或气体喷嘴设计(例如,喷嘴喉部直径、喷嘴长度、和/或喷嘴分歧部半角)。可以选择前述GCIB性质中的任何一个或更多个以实现对目标蚀刻处理度量(例如,以上指出的这些)的控制。此外,可以修改前述GCIB性质中的任意一个或更多个以实现对目标蚀刻处理度量(例如,以上指出的这些)的控制。

[0090] 如上面参照图3所描述的,GCIB的射束能量分布函数可以通过沿着GCIB路径将各自的GCIB引导穿过增压区域使得GCIB的至少一部分横穿增压区域来被修改。对射束能量分布的修改程度可以通过沿着GCIB路径的所述至少一部分的压力-距离(d)积分来表征。当压力-距离积分的值增大(通过增大压力和/或路径长度(d))时,射束能量分布被展宽并且尖峰能量降低。当压力-距离积分的值减小(通过减小压力和/或路径长度(d))时,射束能量分布变窄并且尖峰能量增大。作为示例,可以展宽射束能量分布以提高射束发散性,或者可以使射束能量分布变窄以降低射束发散性。

[0091] 沿着GCIB路径的所述至少一部分的压力-距离积分可以等于或大于约0.0001torr·cm。可替选地,沿着GCIB路径的所述至少一部分的压力-距离积分可以等于或大于约0.001torr·cm。还可替选地,沿着GCIB路径的所述至少一部分的压力-距离积分可以等于或大于约0.01torr·cm。作为示例,沿着GCIB路径的所述至少一部分的压力-距离积分

可以从0.0001torr·cm至0.01torr·cm变化。作为另一示例,沿着GCIB路径的所述至少一部分的压力-距离积分可以从0.001torr·cm至0.01torr·cm变化。

[0092] 可替选地,GCIB的射束能量分布函数可以通过修改或改变各自GCIB的电荷状态来修改。例如,电荷状态可以通过调整在气体团簇的电子碰撞诱导电离中使用的电子的电子通量、电子能量或电子能量分布来修改。

[0093] 在另一实施方式中,可以通过改变射束角分布函数来调整GCIB相对于基片上的法向入射的方向性。射束角分布函数或射束发散角可以使用针对修改射束能量分布函数所描述的前述技术来修改。

[0094] 在一个实施方式中,GCIB处理条件的一个或更多个GCIB性质可以包括GCIB成分、射束剂量、射束加速势、射束聚焦势、射束能量、射束能量分布、射束角分布、射束发散角、所述GCIB成分的流量、滞止压力、滞止温度、所述GCIB所穿过的增压区域的背景气体压力,或者所述GCIB所穿过的增压区域的背景气体流量(例如,P-Cell值,如以下将更详细的讨论)。

[0095] 在另一实施方式中,设定所述一个或更多个GCIB性质以实现所述一个或更多个目标蚀刻处理度量可以包括设定GCIB成分、射束加速势、GCIB成分的流量以及GCIB所穿过的增压区域的背景气体流量,以实现以下项中的两个或更多个:存在于基片上的两种或更多种材料的目标蚀刻速率、第一材料与第二材料之间的目标蚀刻选择性以及第一材料和/或第二材料的目标表面粗糙度。

[0096] 在612中,在至少一个喷嘴的出口下游的位置处将辅助气体供应到GCIB处理系统。辅助气体供应的位置可以是图4或图5所示的布置中的任何一种或其组合。可以选择辅助气体以增强GCIB处理过程,包括但不限于改变过程速率(例如蚀刻速率、沉积速率、生长速率、修改速率等)、改变过程选择性(例如,蚀刻选择性等)、改变基片的表面状况或性质(例如,表面粗糙度、雾度、表面功能性等)、改变基片上或GCIB处理系统内的污染水平(例如,颗粒污染(室颗粒、基片表面颗粒、基片嵌入颗粒)、过程残余物、沉积物或副产物等)等。

[0097] 可以在形成GCIB之前、期间或之后进行辅助气体的供应。例如,向GCIB处理系统(包括处理室)供应辅助气体可以在形成GCIB之前、期间和之后是周期性的或连续的。

[0098] 辅助气体可以包括选自由He、Ne、Ar、Kr、Xe、B、C、H、Si、Ge、N、P、As、O、S、F、Cl和Br组成的组中的至少一种原子种类。作为示例,辅助气体可以包括含氢气体或蒸气、或含卤素气体或蒸气、或其组合。

[0099] 根据一个示例,辅助气体包括含氢气体或蒸气,其中含氢气体或蒸气选自由原子氢(H)、亚稳态氢(H\*)、离子氢(H<sup>+</sup>)、双原子氢(H<sub>2</sub>)、含H基团、H<sub>2</sub>O、NH<sub>3</sub>、烃、卤化物、卤代甲烷、或卤代硅烷、或其两种或更多种的任意组合组成的组。上述形式的含氢气体或蒸气可以在注入到处理室中之前或在注入到处理室中之后产生。例如,基团发生器或等离子体发生器可用于产生含氢气体或蒸气。

[0100] 辅助气体还可以包括含卤素气体或蒸气。例如,含卤素气体或蒸气可以包括原子卤素(例如F)、亚稳态卤素(例如F\*)、离子卤素(例如F-)、双原子卤素(例如F<sub>2</sub>)、含卤素基团、卤化物、卤代甲烷、或卤代硅烷、或其两种或更多种的任意组合。另外,例如,含卤素气体或蒸气可以包括F<sub>2</sub>、HF、CHF<sub>3</sub>、CF<sub>4</sub>、NF<sub>3</sub>或SiF<sub>4</sub>。

[0101] 根据另一示例,当GCIB是被配置成执行蚀刻过程且蚀刻基片上的暴露表面的至少一部分的蚀刻GCIB时,主气体包括蚀刻化合物,并且辅助气体包括含卤素气体或蒸气、或含

氢气体或蒸气、或其组合。可以选择辅助气体以与蚀刻过程的副产物起反应，或增强蚀刻过程。其中，辅助气体可以被引入至靠近基片的处理室中。另外，辅助气体或蒸气可以用于在蚀刻过程之前、期间或之后增加蚀刻速率、从基片表面或室部件表面清洁或去除蚀刻副产物或其他残留物、减少GCIB处理系统的处理室或其他室内或者基片表面上的颗粒形成。

[0102] 在613中，独立于所述供应，将GCIB辐照到基片的暴露表面上，以在存在辅助气体的情况下处理基片的暴露表面。用GCIB辐照基片可以在辅助气体的供应期间、辅助气体的供应之前或辅助气体的供应之后、或其两种或更多种的任意组合下进行。

[0103] 在辐照期间，根据射束加速势，GCIB穿过降压环境朝向基片加速。对于GCIB，射束加速势可以高达100kV，射束能量可以高达100keV，团簇大小可以高达数万个原子，并且射束剂量可以高达每平方厘米约 $1 \times 10^{17}$ 个团簇。例如，GCIB的射束加速势可以从约1kV至约70kV变化（即，射束能量可以从约1keV至约70keV变化，假定平均团簇电荷状态一致）。另外，例如，GCIB的射束剂量可以从每平方厘米约 $1 \times 10^{12}$ 个团簇至每平方厘米约 $1 \times 10^{14}$ 个团簇变化。

[0104] GCIB可以建立为具有在从每原子约0.25eV至每原子约100eV的范围内变化的每原子能量比率。可替选地，GCIB可以建立为具有在从每原子约0.25eV至每原子约10eV的范围内变化的每原子能量比率。可替选地，GCIB可以建立为具有在从每原子约1eV至每原子约10eV的范围内变化的每原子能量比率。

[0105] 具有期望的每原子能量比率的GCIB的建立可以包括选择射束加速势、用于形成GCIB的滞止压力、或气体流量、或其任意组合。射束加速势可以用于增加或降低射束能量或每离子团簇的能量。例如，射束加速势的增加导致最大射束能量的增加，并且因此，导致对于给定团簇大小的每原子能量比率的增大。另外，滞止压力可以用于增加或降低给定团簇的团簇尺寸。例如，在GCIB的形成期间的滞止压力的增大导致团簇大小（即，每团簇的原子数目）的增大，并且因此，导致对于给定射束加速势的每原子能量比率的降低。

[0106] 本文中，射束剂量的单位被给定为每单位面积的团簇的数目。然而，射束剂量还可以包括射束电流和/或射束时间（即，GCIB停延时间）。例如，射束电流可以被测量并且保持为恒定，同时时间变化以改变射束剂量。可替选地，例如，团簇撞击每单位面积的基片的表面的速率（即，每单位时间每单位面积的团簇的数目）可以被保持恒定，同时时间变化以改变射束剂量。

[0107] 在其他实施方式中，图6中描述的方法还可以包括改变所述一个或更多个目标过程度量以创建一个或更多个新的目标过程度量，以及为GCIB设置附加GCIB处理条件的一个或更多个附加GCIB性质，以实现所述一个或更多个新的目标过程度量。

[0108] 根据一个实施方式，除了用GCIB辐照基片之外，另一GCIB可以用于另外的控制和/或功能。由另一GCIB（例如第二GCIB）辐照基片可以在使用GCIB之前、期间或之后进行。例如，可以使用另一GCIB来用杂质掺杂基片的一部分。此外，例如，可以使用另一GCIB来修改基片的一部分以改变基片的性质。另外，例如，另一GCIB可以用于蚀刻基片的一部分以从基片去除附加材料。此外，例如，可以使用另一GCIB来清洁基片的一部分，以从基片去除另外的材料或残余物，例如含卤素残余物。此外，例如，另一GCIB可以用于在基片的一部分上生长或沉积材料。掺杂、修改、蚀刻、清洁、生长或沉积可以包括引入选自由He、Ne、Ar、Xe、Kr、B、C、Se、Te、Si、Ge、N、P、As、O、S、F、Cl和Br组成的组中的一种或更多种元素。

[0109] 根据另一个实施方式,经受GCIB辐照的基片的所述至少一部分可以在用GCIB辐照之前或之后清洁。例如,清洁过程可以包括干式清洁过程和/或湿式清洁过程。另外,经受GCIB辐照的基片的所述至少一部分可以在用GCIB辐照之后退火。

[0110] 根据另一个实施方式,当通过GCIB处理制备和/或处理基片时,可以对基片的任何部分进行校正处理。在校正处理期间,可以使用耦接至GCIB处理系统的现场或异地度量系统来获得度量数据。度量系统可以包括任意类型的基片诊断系统,包括但不限于光学诊断系统、X射线荧光光谱系统、四点探测系统、透射电子显微镜(TEM)、原子力显微镜(AFM)、扫描电子显微镜(SEM)等。另外,度量系统可以包括光学数字轮廓曲线仪(ODP)、散射仪、椭偏仪、反射计、干涉计或其两种或更多种的任意组合。

[0111] 例如,度量系统可以组成光学散射测量系统。散射测量系统可以包括散射仪,其合并了射束轮廓椭偏仪(椭偏仪)和射束轮廓反射计(反射计),可商购自Therma-Wave公司(加州菲蒙市,瑞莱思路1250号,94539)或Nanometrics公司(加州米尔皮塔斯,巴克艾路1550号,95035)。另外,例如,现场度量系统可以包括配置成测量基片上的度量数据的集成光学数字轮廓测定(iODP)散射测量模块。

[0112] 度量数据可以包括参数数据,例如与基片、形成在基片上的任何层或子层、和/或基片上的器件的任何部分相关联的几何、机械、电气和/或光学参数。例如,度量数据可以包括能够通过上述的度量系统测量的任何参数。另外,例如,度量数据可以包括膜厚度、表面和/或界面粗糙度、表面污染、特征深度、沟槽深度、通孔深度、特征宽度、沟槽宽度、通孔宽度、临界尺寸(CD)、电阻、或其两个或更多个的任意组合。

[0113] 度量数据可以在基片上的两个或更多个位置处测量。此外,该数据可以针对一个或更多个基片来获得和收集。所述一个或更多个基片例如可以包括一盒基片。度量数据在所述一个或更多个基片中的至少之一上的两个或更多个位置处测量,并且例如可以在所述一个或更多个基片中每一个上的多个位置处获得。其后,在所述多个基片中的每一个上的多个位置可以使用数据拟合算法从测量的位置扩展至未测量的位置。例如,数据拟合算法可以包括插值法(线性或非线性)或外推法(线性或非线性)或其组合。

[0114] 一旦使用度量系统针对一个或更多个基片收集度量数据,则度量数据被提供至控制器用于计算校正数据。度量数据可以经由物理连接(例如,线缆)或无线连接或其组合在度量系统与控制器之间传送。另外,度量数据可以经由内联网或因特网连接传送。可替选地,度量数据可以经由计算机可读介质在度量系统与控制器之间传送。

[0115] 可以针对基片的位置特定处理来计算校正数据。给定基片的校正数据包括用于根据基片上的位置而调整GCIB剂量的处理条件,以便获得与输入度量数据相关联的参数数据与给定基片的目标参数数据之间的改变。例如,给定基片的校正数据可以包括确定以下处理条件:该处理条件用于使用GCIB来校正给定基片的参数数据的非一致性。可替选地,例如,给定基片的校正数据可以包括确定以下处理条件:该处理条件用于使用GCIB来创建给定基片的参数数据的明确预期的非一致性。

[0116] 使用在参数数据中的期望改变与GCIB剂量之间建立的关系以及在GCIB剂量与具有一组GCIB处理参数的GCIB处理条件之间建立的关系,控制器确定每个基片的校正数据。例如,可以采用数学算法来获取与输入度量数据相关联的参数数据、计算输入参数数据与目标参数数据之间的差异、转化GCIB处理图案(即,蚀刻图案或沉积图案或两者)以适应该

差异、以及创建射束等剂量分布 (dose contour) 以使用参数数据的改变与GCIB剂量之间的关系来实现GCIB处理图案。其后,例如,GCIB处理参数可以被确定以使用射束剂量与GCIB处理条件之间的关系来影响所计算的射束等剂量分布。GCIB处理参数可以包括射束剂量、射束面积、射束轮廓、射束强度、射束扫描速率、或曝光时间(或射束停延时间)、或其两个或更多个的任意组合。

[0117] 在本实施方式中可以成功地采用与所选择的数学算法不同的许多方法。在另一实施方式中,射束等剂量分布可以选择性地沉积另外的材料以便实现参数数据的期望的改变。

[0118] 可以使用GCIB将校正数据应用于基片。在校正处理期间,GCIB可以配置成执行平滑、非晶化、修改、掺杂、蚀刻、生长或沉积或其两个或更多个的任意组合中的至少之一。向基片应用校正数据可以便于基片缺陷的校正、基片表面平坦化的校正、层厚度的校正或层粘附的改进。一旦处理达到GCIB规格,则(一个或更多个)基片的一致性或(一个或更多个)基片的参数数据的分布可以被现场或异地检测,并且处理可以根据情况结束或改善。

[0119] 虽然上面仅详细描述了本发明的某些实施方式,但是本领域技术人员将容易地理解,在实质上不脱离本发明的新颖教导和优点的情况下,可以对实施方式进行许多修改。因此,所有这些修改旨在包括在本发明的范围内。

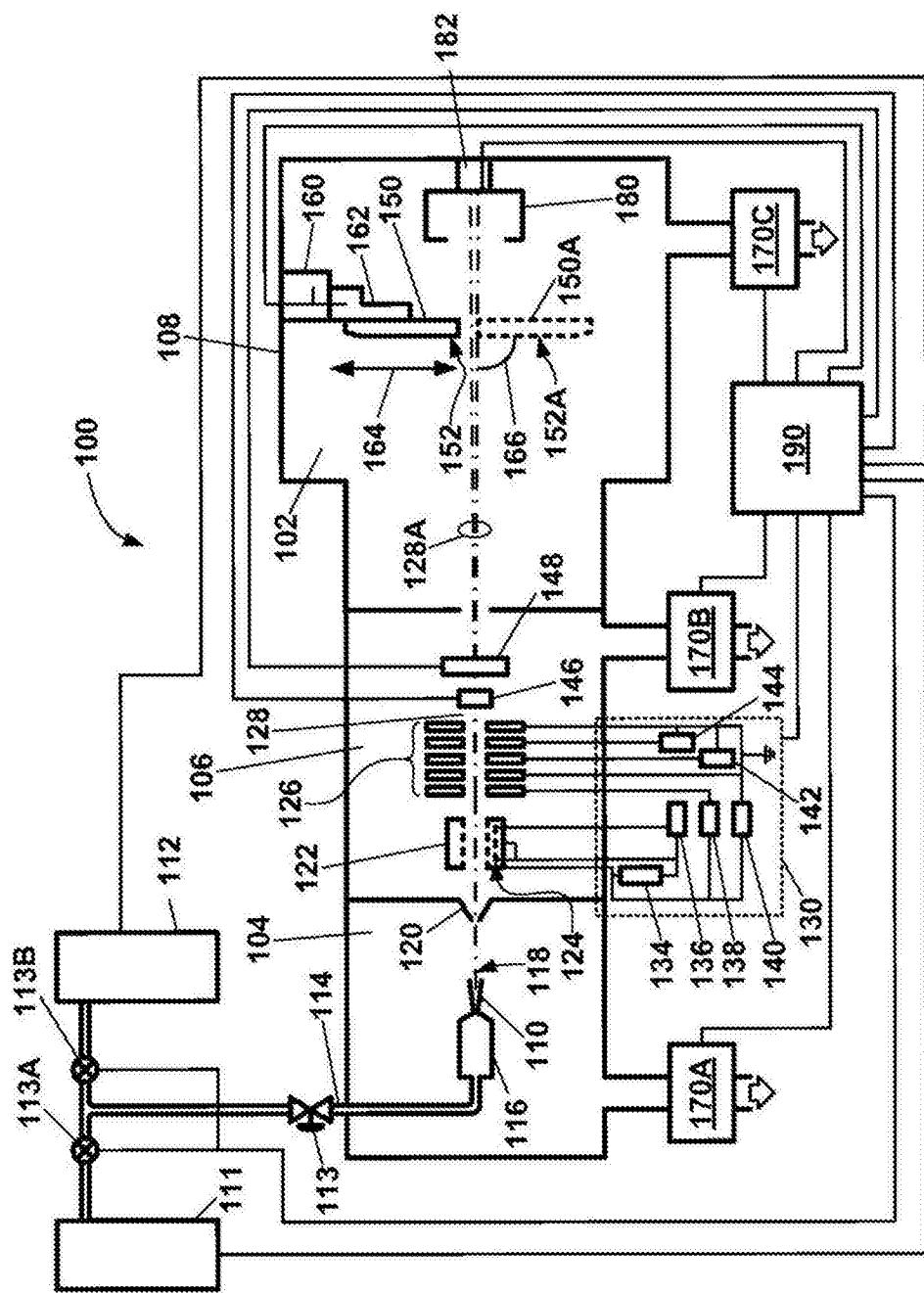


图1

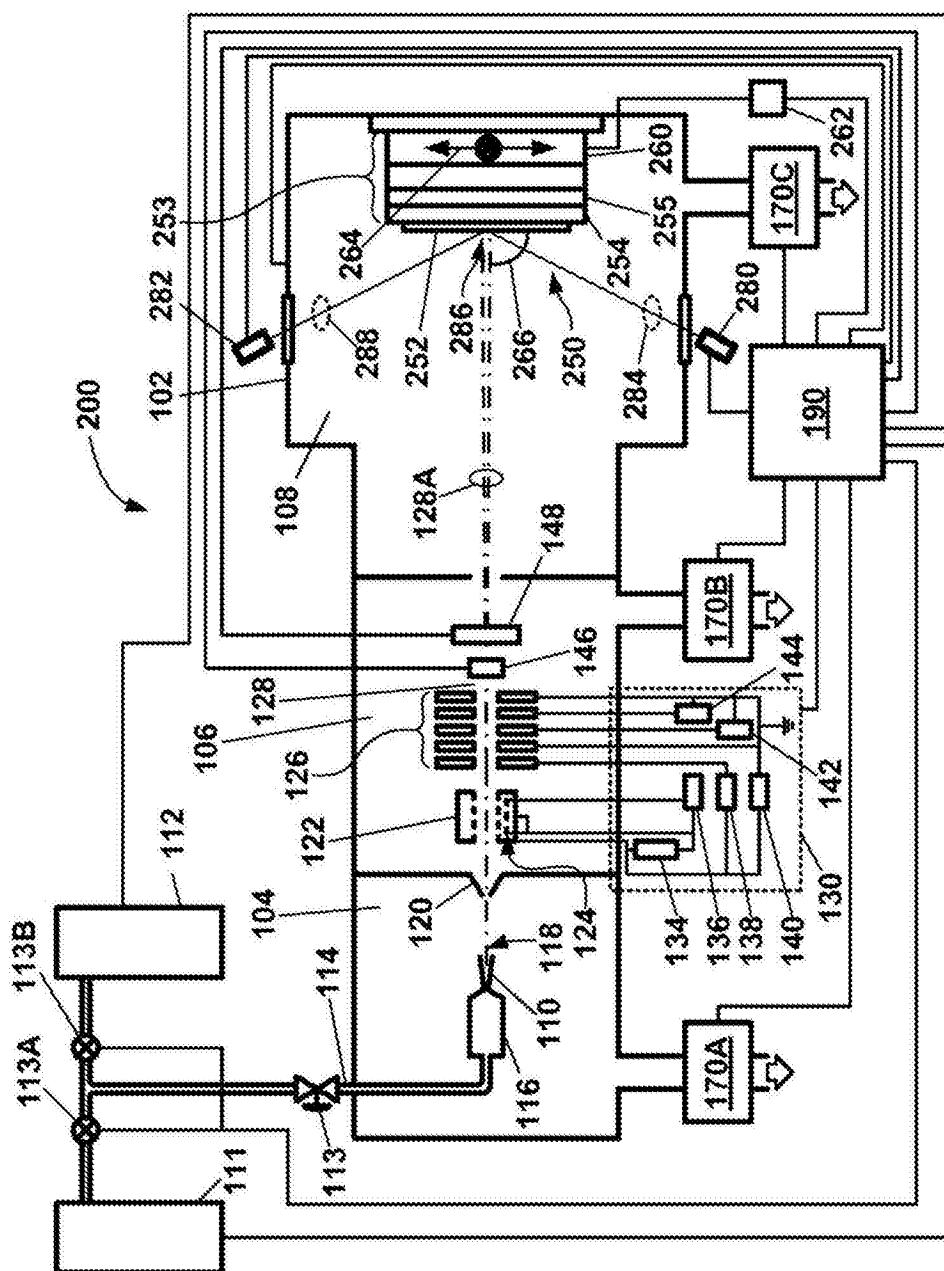


图2

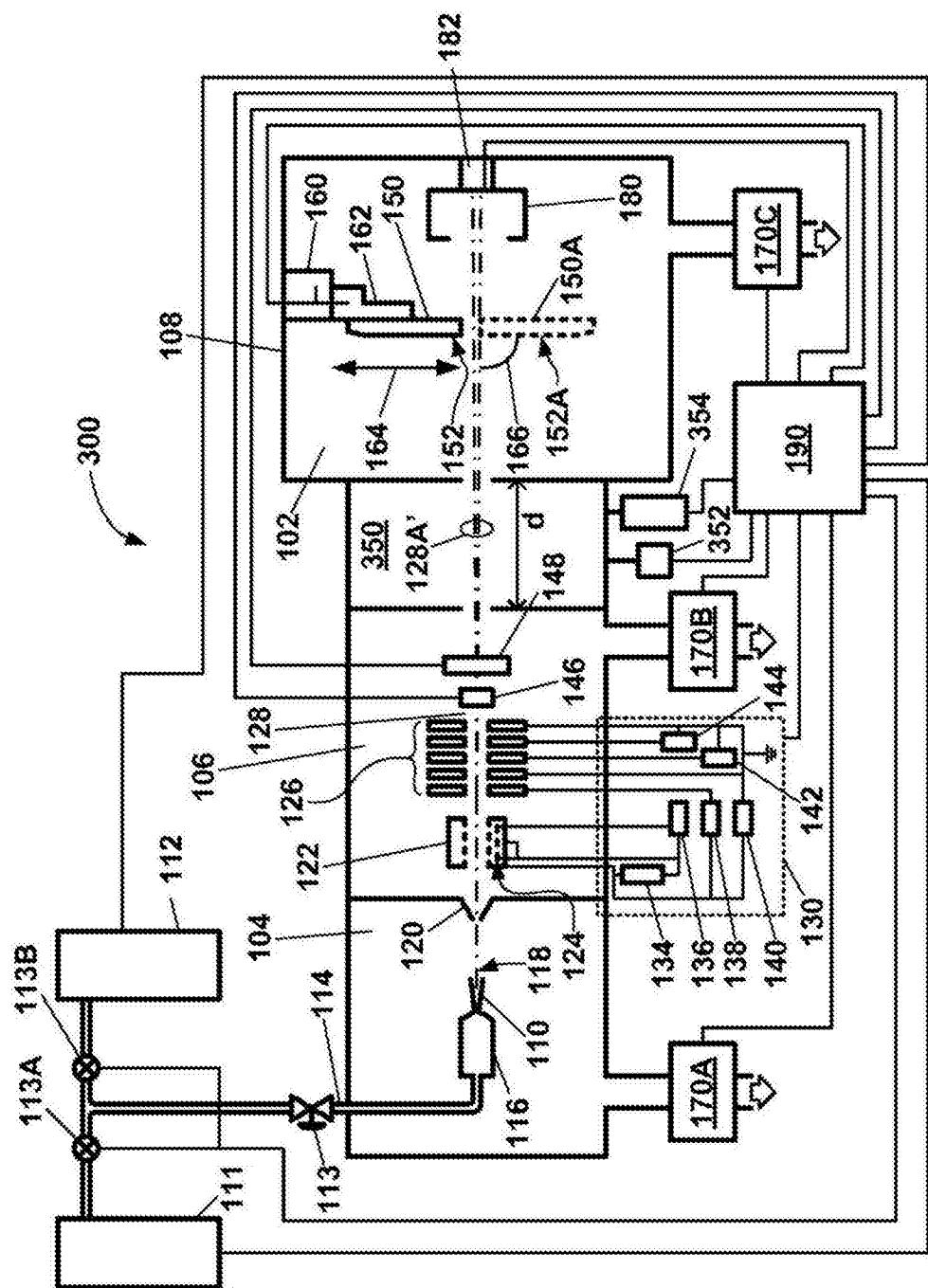


图3

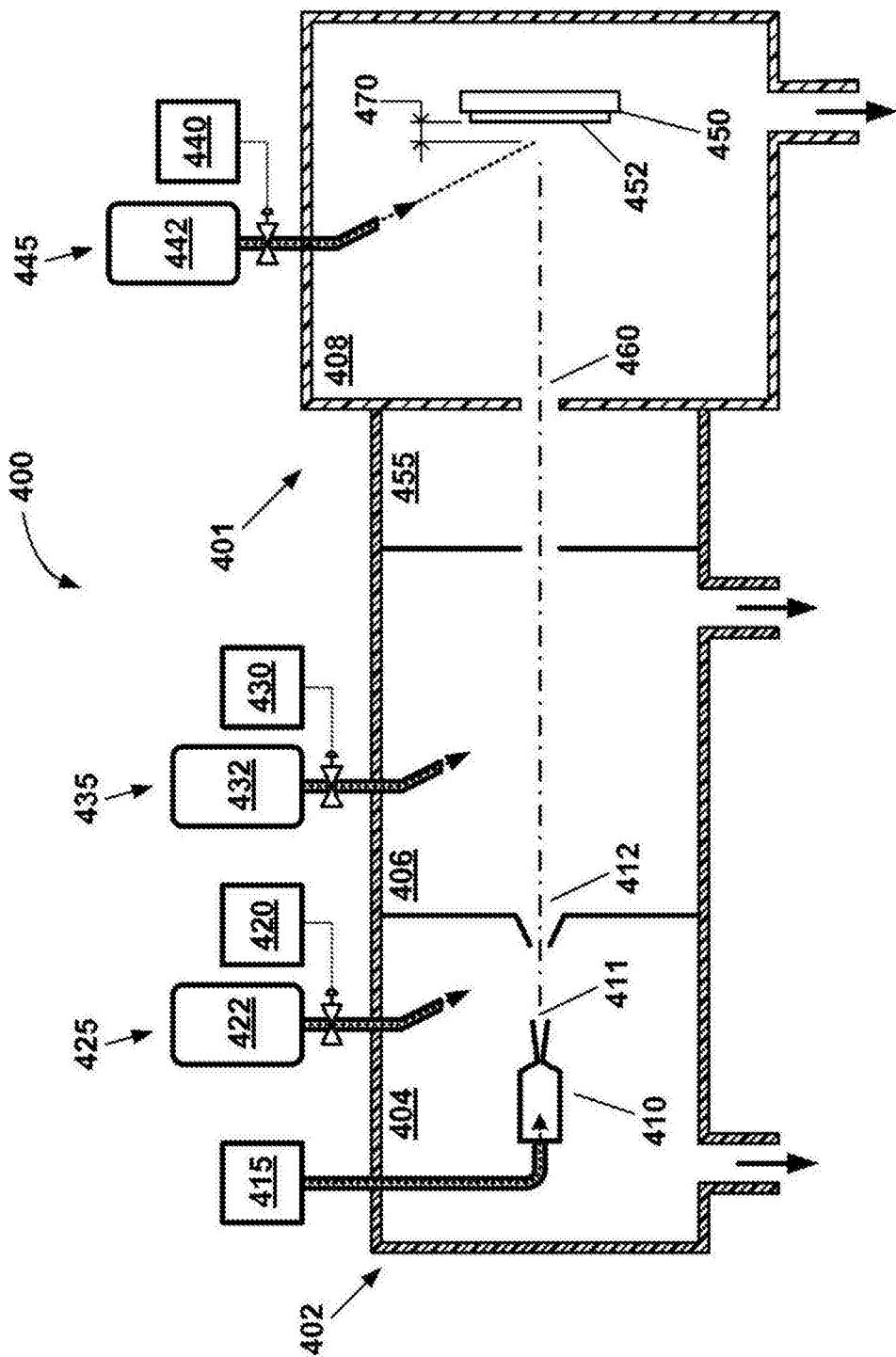


图4

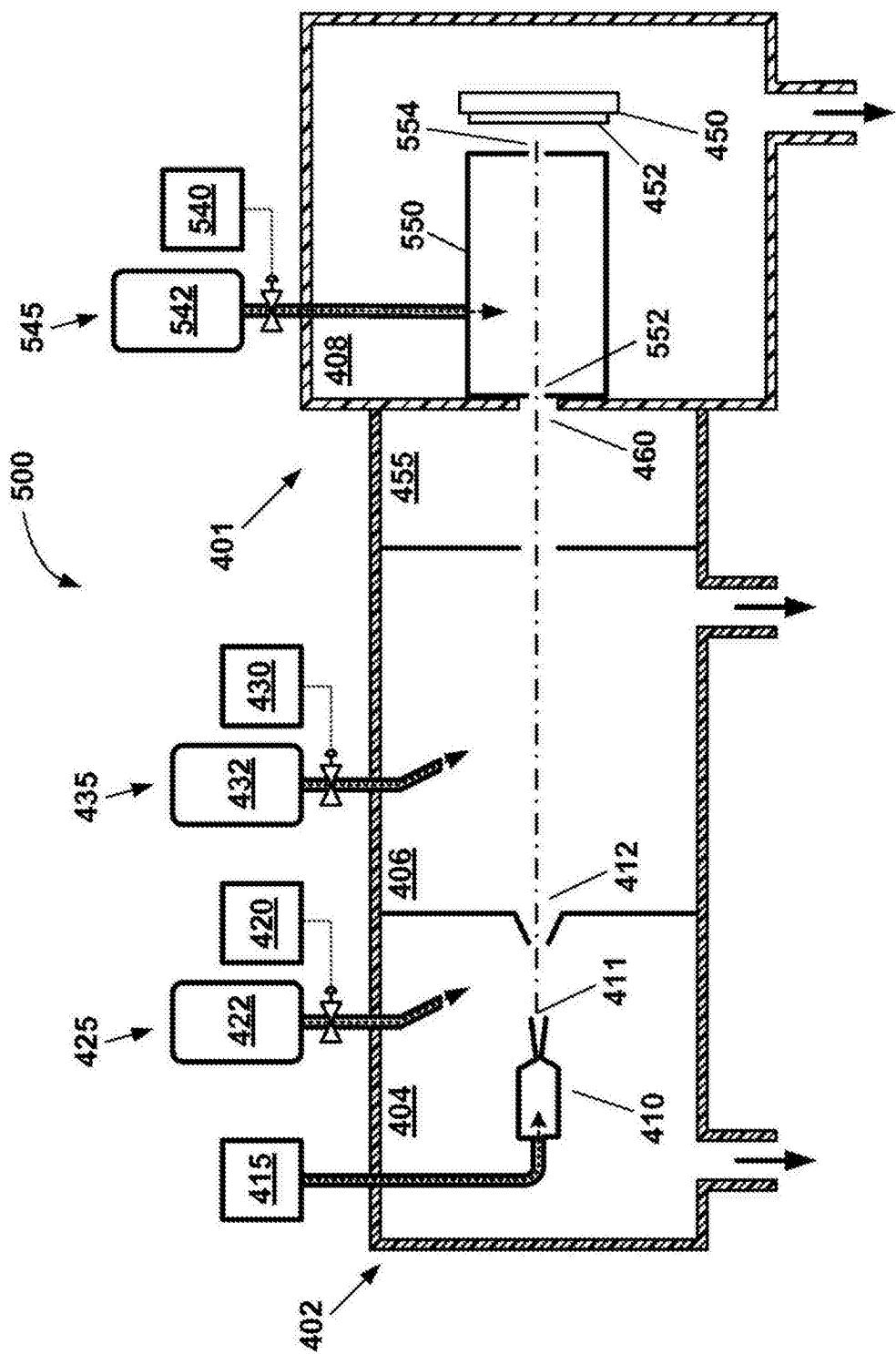


图5

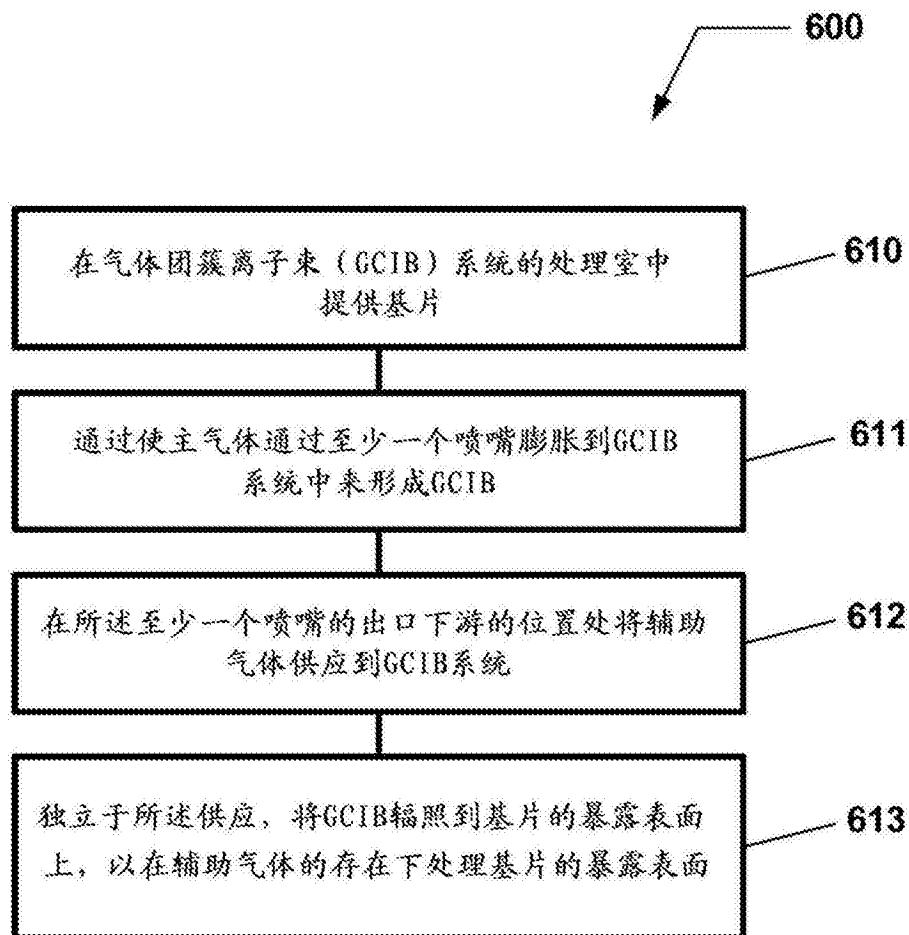


图6