



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103225071 A

(43) 申请公布日 2013. 07. 31

(21) 申请号 201310021460. 8

(22) 申请日 2013. 01. 21

(30) 优先权数据

61/588, 964 2012. 01. 20 US

13/414, 619 2012. 03. 07 US

(71) 申请人 诺发系统公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 丹尼斯·豪斯曼 乔恩·亨利

巴特·范施拉芬迪克

伊斯瓦·斯里尼瓦桑

(74) 专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

代理人 李献忠

(51) Int. Cl.

C23C 16/44 (2006. 01)

C23C 16/52 (2006. 01)

C23C 16/34 (2006. 01)

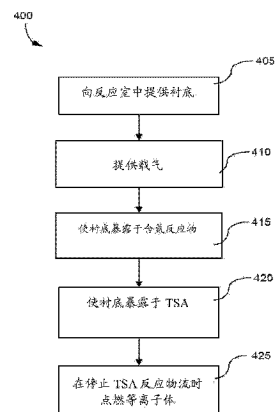
权利要求书2页 说明书18页 附图7页

(54) 发明名称

用于沉积无氯保形 SiN 膜的方法

(57) 摘要

描述了在衬底上制备氮化硅(SiN)材料的方法。还包括由该方法制备的改善的 SiN 膜。一方面涉及沉积无氯保形 SiN 膜。在一些实施方式中, SiN 膜是无氯无碳的。另一方面涉及调整保形 SiN 膜的应力和 / 或湿法刻蚀率。另一方面涉及沉积高质量保形 SiN 膜的低温方法。在一些实施方式中, 该方法涉及使用三硅烷基胺(TSA)作为含硅前驱体。



1. 一种在反应室中在衬底上形成氮化硅材料的方法,包括:

周期性将所述衬底暴露于无卤素含硅反应物的气相流,其中,所述无卤素含硅反应物被吸附在所述衬底的表面上;

将所述衬底暴露于第一含氮反应物的气相流,其中,所述含氮反应物被吸附在所述衬底的所述表面上;以及

当气相含氮反应物在所述反应室中存在并且所述无卤素含硅反应物的所述气相流已停止时,周期性地点燃所述反应室中的等离子体。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述无卤素含硅反应物是三硅烷基胺(TSA)。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述第一含氮反应物是无碳的。

4. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述第一含氮反应物是胺。

5. 根据权利要求1-3中的任何一项所述的方法,其中,所述第一含氮反应物是无碳的,且所述方法进一步包括使含有碳的第二含氮反应物的气相流流动。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中,所述第二含氮反应物是C1-10烷基胺。

7. 根据权利要求5或6所述的方法,其中,所述第一含氮反应物与所述第二含氮反应物的体积流量比介于约1:1和10:1之间。

8. 根据权利要求5或6所述的方法,其中,所述第一含氮反应物与所述第二含氮反应物的体积流量比介于约1:1和4:1之间。

9. 根据权利要求5或6所述的方法,其中,所述第一含氮反应物与所述第二含氮反应物的体积流量比介于约1:10和1:1之间。

10. 根据权利要求5或6所述的方法,其中,所述第一含氮反应物与所述第二含氮反应物的体积流量比介于约1:4和1:1之间。

11. 根据权利要求1-3中的任一项所述的方法,其中,所述衬底包括锗-碲-铈合金、在其上形成所述氮化硅材料的金属表面以及在其上形成所述氮化硅材料的氧化物表面中的一个;。

12. 根据权利要求1-3中的任一项所述的方法,其中,所述等离子体或活化能的源是具有功率为在约0.15W/cm²和0.5W/cm²之间的RF等离子体。

13. 根据权利要求1-3中的任一项所述的方法,其中,所述等离子体或活化能的源是具有功率为在约1W/cm²和3W/cm²之间的RF等离子体。

14. 根据权利要求1-3中的任一项所述的方法,其中,所述等离子体或活化能的源是仅HF的RF等离子体。

15. 根据权利要求1-3中的任一项所述的方法,其中,所述衬底的温度保持在不超过约400°C。

16. 根据权利要求1-3中的任一项所述的方法,其中,所述衬底的温度保持在不超过约375°C。

17. 根据权利要求1-3中的任一项所述的方法,其中,所述衬底的温度保持在不超过约350°C。

18. 根据权利要求1-3中的任一项所述的方法,其中,所述衬底的温度保持在不超过约325°C。

19. 根据权利要求1-3中的任一项所述的方法,其中,所述氮化硅材料的应力在

约 -4GPa 和 -2GPa 之间。

20. 根据权利要求 1-3 中的任一项所述的方法, 其中, 所述氮化硅材料的应力在约 -2GPa 和 1GPa 之间。

21. 根据权利要求 1-3 中的任一项所述的方法, 其中, 所述氮化硅材料是无卤素的。

22. 根据权利要求 1-3 中的任一项所述的方法, 其中, 所述衬底的表面包括一个或多个凸起或凹陷的特征, 并且所述氮化硅材料对所述一个或多个凸起或凹陷的特征是保形的。

23. 一种用于在半导体衬底上沉积氮化硅膜的装置, 所述装置包括:

(a) 反应室;

(b) 形成所述氮化硅膜的活化能的源;

(c) 反应物入口; 以及

(d) 包括用于以下项的指令的控制器:

在沉积循环期间使第一和第二含氮反应物流动到所述反应室中;

在所述沉积循环期间周期性使无卤素含硅反应物流动到所述反应室中;

当所述含硅反应物的所述流动已经停止且当所述第一和第二含氮反应物以气相形式存在于所述反应室中时, 周期性地点燃所述反应室中的等离子体。

24. 根据权利要求 23 所述的装置, 其中, 所述活化能的源是等离子体发生器、感应线圈和微波源中的一个或多个。

用于沉积无氯保形 SiN 膜的方法

优先权

[0001] 本申请要求于 2012 年 1 月 20 日提交的美国临时申请 No. 61/588, 964, 以及于 2012 年 3 月 7 日提交的美国专利申请 No. 13/414, 619 的优先权, 这两者的优先权通过引用并入本发明。

技术领域

[0002] 本公开通常涉及在衬底上形成 SiN 材料。更具体地, 本发明涉及在半导体衬底上形成 SiN 膜。

背景技术

[0003] 由于氮化硅(SiN)薄膜具有独特的物理、化学和机械性能, 因此其被用于各种应用中, 尤其是在半导体器件中, 例如扩散阻挡层、栅绝缘、侧壁隔离层、包封层、晶体管中的应变膜、等等。SiN 膜的一个问题是形成该膜的相对高的温度, 例如, 在前工序生产线(FEOL)应用中, SiN 膜通常是通过化学气相沉积法(CVD)在高于 750°C 的反应器中使用二氯硅烷和氨沉积的。然而, 由于 SiN 膜用于后序半导体制造工艺中, 且随着器件尺寸持续缩小, 存在增加的要在较低的温度下形成 SiN 膜的需求, 该较低的温度例如低于 600°C。

发明内容

[0004] 本说明描述了在衬底上制备氮化硅(SiN)材料的方法。还包括通过该方法制备改善的氮化硅膜。一个方面涉及沉积无氯(Cl)保形 SiN 膜。在一些实施方式中, SiN 膜是无 Cl 和无碳(C)的。另一个方面涉及调整保形 SiN 膜的应力和 / 或湿蚀刻速率的方法。另一个方面涉及沉积高质量保形 SiN 膜的低温方法。在一些实施方式中, 该方法涉及使用三硅烷基胺(TSA)作为含硅前驱体。

[0005] 一个方面是一种方法, 该方法包括: 周期性地将衬底暴露于无卤素含硅反应物的气相流, 其中, 所述的无卤素含硅反应物被吸附在该衬底的表面; 将该衬底暴露于第一含氮反应物的气相流, 其中, 所述含氮反应物被吸附在该衬底的表面; 以及当气相含氮反应物存在于反应室以及无卤素含硅反应物的气相流已经停止时, 周期性地激励该反应室中的等离子体。在一些实施方式中, 无卤素含硅反应物是 TSA。在某些实施方式中, 第一含氮反应物是无碳的。无碳含氮反应物的示例包括氨或肼。在某些实施方式中, 第一含氮反应物是胺, 例如, C1-10 烷基胺。在某些实施方式中, 第一含氮反应物是叔丁基胺。

[0006] 在一些实施方式中, 将衬底暴露于不同于所述第一含氮反应物的第二含氮反应物的气相流中。该第一含氮反应物可以是无碳的而该第二含氮反应物含有碳。在某些实施方式中, 第一含氮反应物与第二含氮反应物的体积流量比介于约 1:1 和 10:1 之间, 例如约 1:1 和 4:1 之间。在某些实施方式中, 第一含氮反应物与第二含氮反应物的体积流量比介于约 1:10 和 1:1 之间, 例如约 1:4 和 1:1 之间。

[0007] 在某些实施方式中, 反应室中的压强是循环的, 以便其在含硅反应物的气相流动

过程期间较高。例如,在反应室中的压强可以在第一压强和第二压强之间循环,该第一压强在约 5 和 50 托之间且该第二压强在约 1 和 5 托之间。

[0008] 在某些实施方式中,通过该方法将衬底连续地暴露于第一含氮反应物的气相流。在某些实施方式中,将衬底周期性地暴露于第一含氮反应物的气相流。

[0009] 在某些实施方式中,提供了低温工艺,温度保持在不超过约 400°C 或更低,例如,不超过 375°C、350°C 或 325°C。在某些实施方式中,氮化硅材料的应力可被调整。例如,可以沉积具有约 -4GPa 和 -2GPa 之间的应力的氮化硅材料。在另一个例子中,可以沉积具有约 -2GPa 和 1GPa 之间的应力的氮化硅材料。该氮化硅材料可以是无卤素的。在某些实施方式中,氮化硅材料是无卤素和无碳的。

[0010] 本发明的一个方面涉及在衬底上形成氮化硅材料的方法,其包括在反应室中提供衬底;将该衬底暴露于气相形式的 TSA,以便 TSA 反应物被吸附到衬底的表面;将该衬底暴露于气相形式的含氮反应物,以使该含氮反应物被吸附到该衬底的表面;以及当该含氮反应物以气相形式存在时点燃等离子体。该衬底的表面可包括凸起的或凹陷的特征。例如,该衬底可以包括如铜等金属,如氧化硅等电介质材料,或锗-铟-碲(GST)合金中的一种或多种。在一些实施方案中,含氮反应物是无碳含氮反应物,如氨或肼。在一些实施方案中,含氮反应物是含碳的反应物。在一些实施方式中,含氮反应物是含碳反应物和无碳含氮反应物的混合物。衬底温度可以是,例如,在约 300°C 和约 450°C 之间,或在约 300°C 和约 400°C 之间。在一些实施方式中,温度低于 400°C。在一些实施方式中,RF 功率可为约 0.15-0.5W/cm²。

[0011] 本发明的另一个方面涉及一种用于沉积氮化硅膜的装置。该装置可包括反应室;形成氮化硅膜的活化能的源;反应物入口;以及控制器。该控制器可以包括用于以下项的指令:在沉积循环期间使第一和第二含氮反应物流动进入该反应室;在沉积循环期间周期性地使无卤素含硅反应物流动进入该反应室;以及当含硅反应物的流动已停止以及在该反应室中当第一和第二含氮反应物以汽相形式存在时,周期性地点燃该反应室中的等离子体。

[0012] 本发明的这些和其它特征和优点,将参照相关附图在下面进行更详细地描述。

附图说明

[0013] 图 1 示出在 CFD 工艺中示例性阶段的时间进程。

[0014] 图 2-4 示出制备 SiN 膜的示例流程图。

[0015] 图 5 示出 CFD 处理站的示例。

[0016] 图 6 示出多站处理工具的概略图的示例。

[0017] 图 7 示出了使用 TSA/氨系统沉积的 SiN 膜的 I-V 曲线。

[0018] 图 8 示出了对于各种特征深宽比使用 TSA/氨系统沉积的 SiN 膜的底部和侧面的阶梯覆盖性。

具体实施方式

[0019] 本公开涉及 SiN 膜的形成,尤其涉及在半导体衬底上 SiN 膜的形成。本文描述的方法包括控制 SiN 膜中的碳含量的方法,特别是形成低碳含量的 SiN 膜,以及形成 SiN 膜的

保形膜沉积(CFD)方法。

定义

[0020] 如本文所用的,除非另有说明,应适用下面的定义。

[0021] “含硅反应物”是用于制备 SiN 材料的试剂,单个或混合的试剂,其中该试剂含有至少一种硅化合物。该硅化合物可以是,例如,硅烷、卤代硅烷或氨基硅烷。硅烷含有氢和 / 或碳基团,但不含有卤素。硅烷的示例为硅烷(SiH_4)、乙硅烷(Si_2H_6) 以及有机硅烷,如甲基硅烷、乙基硅烷、异丙基硅烷、叔-丁基硅烷、二甲基硅烷、二乙基硅烷、二-叔丁基硅烷、烯丙基硅烷、仲-丁基硅烷、己基硅烷、戊基硅烷、叔丁基二硅烷、二-叔丁基二硅烷、等等。卤代硅烷含有至少一种卤素基团,并且可包含或不包含氢和 / 或碳的基团。卤代硅烷的示例为碘硅烷、溴硅烷、氯硅烷和氟硅烷。虽然卤代硅烷类,特别是氟硅烷,可以形成能蚀刻硅材料的反应性卤化物,但在本文所描述的某些实施方式中,等离子体被激发时含硅反应物是不存在的。特定的氯硅烷是四氯硅烷(SiCl_4)、三氯硅烷(HSiCl_3)、二氯硅烷(H_2SiCl_2)、一氯硅烷(ClSiH_3)、丙基氯硅烷、甲基氯硅烷、甲基二氯硅烷、二甲基氯硅烷、乙基氯硅烷、叔丁基氯硅烷、二-叔丁基氯硅烷、异丙基氯硅烷、仲丁基氯硅烷、叔-丁基二甲基氯硅烷、叔己基二甲基氯硅烷、等。氨基硅烷包括至少一个键合到硅原子上的氮原子,但还可以含有氢原子、氧原子、卤原子和碳原子。氨基硅烷的例子是单-、二-、三-和四-氨基硅烷(分别为 $\text{H}_3\text{Si}(\text{NH}_2)_4$ 、 $\text{H}_2\text{Si}(\text{NH}_2)_2$ 、 $\text{HSi}(\text{NH}_2)_3$ 和 $\text{Si}(\text{NH}_2)_4$),以及取代的单-、二-、三-和四-氨基硅烷,例如,叔丁基氨基硅烷、甲基氨基硅烷、叔丁基硅烷基胺、双(叔丁基氨基)硅烷($\text{SiH}_2(\text{NHC}(\text{CH}_3)_3)_2$ (BTBAS)、叔丁基甲硅烷基氨基甲酸酯、 $\text{SiH}(\text{CH}_3)-(\text{N}(\text{CH}_3)_2)_2$ 、 $\text{SiHCl}-(\text{N}(\text{CH}_3)_2)_2$ 、 $(\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{NH})_3$ 、等。氨基硅烷的又一例子是三硅烷基胺($\text{N}(\text{SiH}_3)_3$)。

[0022] “含氮反应物”包含至少一个氮原子,例如,氨,肼,胺(带碳的胺),如甲胺、二甲胺、乙胺、异丙胺、叔丁胺、二-叔丁基胺、环丙胺、仲-丁胺、环丁胺、异戊胺、2-甲基丁-2-胺、三甲胺、二异丙基胺、二乙基异丙基胺、二-叔丁基肼,以及含芳香族胺如苯胺、吡啶、和苄胺。胺可以是伯、仲、叔或季胺(例如,四烷基胺化合物)。含氮反应物可以含有除氮以外的杂原子,例如,羟胺、叔丁羟胺和 N-叔丁基羟胺是含氮反应物。

[0023] “等离子体”是指在反应室中点燃或远程地点燃并带入反应室的等离子体。等离子体可以包括本文所描述的反应物,也可以包括其他试剂,例如载气,或如氢气等反应性物类。当等离子体被激发时,反应物和其它试剂可能在反应室中存在,或远程的等离子体流入到存在反应物的室中,和 / 或反应物和 / 或载气可被远程点燃成等离子体并被带入反应室。“等离子体”是指包括任何在技术上可行的已知的等离子体,包括感应耦合等离子体和微波表面波等离子体。在本技术领域的普通技术人员将领会,技术进步会发生,因此尚未开发的等离子体发生的技术被认为在本发明的范围之内。

[0024] “可热去除基团”是指在含氮反应物和含硅反应物中的一者或两者上的基团,这些反应物在约 200°C 和约 550° 之间分解成挥发性组分。这里所描述的非限制性的例子,如仲和叔碳基团,在此温度范围内进行消除反应。在本技术领域的普通技术人员将认识到,其他基团通过其它的机制如所描述的进行热分解,例如,叔丁氧羰基(t-BOC 或“BOC”)基团通过消除机制热分解,其中该基团的叔丁基部分形成异丁烯,并该分解还形成二氧化碳。因此,可热去除基团并不限定于特定的机制或机制的组合。只要该基团在特定的温度范围内分解以产生至少一种挥发性组分,则该基团就具有资格作为可热分解的基团。例如,在给定的一

组条件下,叔丁基乙胺将进行叔丁基基团的热分解以形成异丁烯,而乙基留下,因此异丁烯和乙胺是热分解的产物。在本技术领域的普通技术人员将认识到,组分的挥发性部分地取决于该组分生成的反应条件。例如,在加热和低压的条件下异丁烯可以是易挥发性的,并且可从反应室中去除,因为它不与吸附的反应物反应,同时,例如,尽管氨通常是挥发性化合物,其与吸附在衬底的表面上的含硅反应物进行反应。

方法

[0025] 在此描述的是制造 SiN 膜的方法。在一特定实施方式中,采用 等离子激活保形膜沉积(CFD)法制造 SiN 膜。在一些实施方式中,采用氨基硅烷含硅反应物沉积 SiN 膜。在一些实施方式中,采用无卤素的氨基硅烷沉积 SiN 膜。在一些实施方式中,采用三硅烷基胺沉积 SiN 膜。

[0026] 在一些实施方式中,采用无碳和含氮的反应物沉积 SiN 膜。在一些实施方式中,采用氨沉积 SiN 膜。在一些实施方式中,采用无碳化合物含氮反应物和含碳含氮的反应物的混合物沉积 SiN 膜。

[0027] 在一些实施方式中,沉积得到无卤素保形 SiN 膜。在一些实施方式中,沉积得到无卤素和无碳保形 SiN 膜。在一些实施方式中,沉积得到具有经调节的应力的无卤素保形 SiN 膜。在一些实施方式中,在小于 400℃ 的温度沉积得到保形 SiN 膜。在下文中将更详细地描述上述各个方面。

[0028] 在某些实施方式中,采用 CFD 沉积所述 SiN 膜,尽管在本文中描述的方法并不局限于 CFD。其它适当的方法包括 ALD, PEALD, CVD, PECVD, 和等离子增强循环化学气相沉积(PECCVD)。在 2011 年 4 月 11 日提交的申请号为 13/084,399 的美国专利申请中描述了采用 CFD 形成薄膜的方法,该申请内容通过引用的方式被并入本文中,用于所有目的。

[0029] 制造半导体器件通常涉及在集成制造工艺中在非平面衬底上沉积一或多层薄膜。在所述集成工艺的一些方面,沉积保形薄膜可能是有用的。例如,可在升高的栅堆叠结构(elevated gate stack)的顶部沉积氮化硅膜作为分隔层,保护轻掺杂源和漏极区不受随后的离子注入工艺的影响。

[0030] 在分隔层沉积工艺中,可采用化学气相沉积(CVD)法在所述非平面衬底上形成氮化硅膜,其随后进行非等向性刻蚀(anisotropically etched),形成所述分隔层。然而,随着栅堆叠结构之间的距离减小,CVD 气相反应的物质传输限制(mass transport limitations)可能引起“面包块”沉积效应(“bread-loafing” deposition effects)。这些效应通常表现为在栅堆叠结构的顶面处沉积较厚而在栅堆叠结构的底角处沉积较薄。此外,由于一些模片可能具有器件密度不同的多种区域,在整个晶片表面上的物质传输影响可能导致在模片内和在晶片内的薄膜厚度发生变化。这些厚度的变化可导致一些区域过刻蚀和其它区域刻蚀不足。这可能会降低器件性能和 / 或模片成品率。

[0031] 一些解决这些问题的方法包括原子层沉积(ALD)。ALD 法与 CVD 法不同,CVD 法采用热激活的气相反应沉积薄膜,而 ALD 法采用表面介导的沉积反应在逐层的基础上沉积薄膜。在 ALD 法的一个实施例中,包含有大量表面活性位点的衬底表面暴露于气相分布的第一反应物(A)。反应物 A 的一些分子在所述衬底表面的顶部形成凝聚相,所述凝聚相包括化学吸附的物质和物理吸附的反应物 A 分子。然后排空反应器,除去气态和物理吸附的反应物 A,使得仅保留化学吸附的物质。接着向反应器中引入第二膜反应物(B),使得一些反应

物 B 分子吸附到衬底表面。向衬底提供的热能激活吸附的反应物 A 和 B 分子之间的表面反应,形成薄膜层。最后,排空反应器,除去反应副产物和未反应的反应物 B,ALD 循环终止。可包括额外的 ALD 循环,以增加膜厚度。等离子体或其它能量形式可与加热形式配合用于衬底,或作为加热的替代方式用于衬底,以驱动反应物 A 和 B 之间的反应。

[0032] 根据反应物投料步骤的暴露时间以及反应物的粘附系数,在一个实施例中,各 ALD 循环可沉积厚度为 0.5-3 埃的膜层。因此,在沉积具有大于几个纳米厚度的膜时,ALD 法可能是费时间的。而且,为沉积保形膜,一些反应物可能具有长的暴露时间,这也可能减少晶片吞吐量时间。

[0033] 也可在平面衬底上沉积保形膜。例如,可从包含交替的膜类型的平面堆叠结构形成用于平版印刷图案应用的抗反射层。这种抗反射层的厚度可以是约 100-1000 埃,使得 ALD 法吸引力不及 CVD 法。然而,这种抗反射层所提供的晶片内厚度变化的公差也可能比许多 CVD 法所提供的更低。例如,600 埃厚度的抗反射层可允许变动量为小于 3 埃的厚度范围。

[0034] 在本文中描述的各种实施方式包括采用 CFD 沉积 SiN 膜。通常,CFD 不依赖于在反应形成 SiN 之前彻底清洗一或多种反应物。例如,在轰击等离子体(或其它活化能)时,在气相中可存在一或多种反应物。因此在 CFD 工艺实例中,可减少或取消在 ALD 法中描述的一或多个工艺步骤。而且,在一些实施方式中,等离子体激活的沉积反应可导致比热激活的反应更低的沉积温度,有效地降低集成工艺的热能预算。

[0035] 图 1 显示了在 CFD 工艺 100 中各示例性阶段的诸如惰性气体流、反应物 A、反应物 B 以及轰击等离子体的时间之类的各种工艺参数的时间进展。在图 1 中,显示了两个沉积循环 110A 和 110B。本领域普通技术人员应理解的是,为了沉积所需的膜的厚度,在 CFD 工艺中可包括任意适当数量的沉积循环。示例的 CFD 工艺参数包括,但不限于,惰性物质和反应物质的流率,等离子体功率和频率,衬底温度,以及处理站压力。

[0036] CFD “循环”的定义与在本文中讨论的各种实施方式有关。通常一个循环是执行一次表面沉积反应所需的最少的一组操作。一个循环的结果是在衬底表面上产生至少一部分膜层。通常,一个 CFD 循环将仅包括:将各反应物传送并吸附至所述衬底表面,以及接着使那些吸附的反应物反应形成所述部分的膜层所必需的那些步骤。所述循环可包括某些辅助步骤,例如清除所述反应物或副产物之一,和 / 或处理如上沉积的部分膜。通常,一个循环仅包括一个唯一的操作顺序的例子。例如,一个循环可包括以下操作:(i)传送 / 吸附反应物 A,(ii)传送 / 吸附反应物 B,(iii)将 B 清除出反应腔室,以及(iv)施加等离子体,驱使 A 和 B 的表面反应,以在所述表面上形成所述部分的膜层。

[0037] 参见图 1,在工艺 100 的所有阶段期间流通有惰性气体。在反应物 A 暴露阶段 120A,以控制的流率将反应物 A 供应至处理站,以使经暴露的衬底表面饱和。反应物 A 可以是任意适当的沉积反应物,例如,含氮反应物。在图 1 中所示的实施方式中,反应物 A 持续流通过沉积循环 110A 和 110B。与通常的 ALD 工艺不同,ALD 工艺中膜前体(反应物)暴露是分开进行的,以避免气相反应,而在 CFD 工艺的一些实施方式中允许反应物 A 和 B 混合在气相中。与 ALD 工艺中反应物 A 的开始通入、接着稳定并暴露衬底、然后关闭以及最终移除出反应器相比较,连续供应反应物 A 至所述处理站,可减少或取消反应物 A 流率开启和稳定的时间。尽管在图 1 中所示的实施方式描绘了反应物 A 暴露阶段 120A 具有恒定流率,但是应

理解的是在本公开内容的范围内反应物 A 可采用任意适当的流率,包括可变化的流率。在一些实施方式中,反应物 A 暴露阶段 120A 可具有一段持续时间,其超过反应物 A 的衬底表面饱和时间。例如,图 1 的实施方式包括在反应物 A 暴露阶段 120A 中的反应物 A 饱和后暴露时间 130。任选地,反应物 A 暴露阶段 120A 可包括控制流率的惰性气体。示例的惰性气体包括,但不限于,氮气,氩气,以及氦气。可提供惰性气体以协助处理站的压力和 / 或温度控制,液态反应物的蒸发,反应物的更快速传送和 / 或作为清扫气体将处理气体清除出处理站和 / 或处理站管道设备。

[0038] 在图 1 中所示的实施方式的反应物 B 暴露阶段 140A,以控制的流率供应反应物 B 至处理站,以使暴露的衬底表面饱和。在该实施例中,反应物 B 可以是例如含氮的反应物。尽管在图 1 中所示的实施方式描绘反应物 B 暴露阶段 140A 具有恒定流率,但是应理解的是在本公开内容的范围内反应物 B 可采用任意适当的流率,包括可变化的流率。进一步地,应理解的是反应物 B 暴露阶段 140A 可具有任意适当的持续时间段。在一些实施方式中,反应物 B 暴露阶段 140A 可具有一段持续时间,其超过反应物 B 的衬底表面饱和时间。例如,图 1 的实施方式描绘了包括在反应物 B 暴露阶段 140A 中的反应物 B 饱和后暴露时间 150。

[0039] 在一些实施方式中,表面吸附的 B 物质可以不连续的岛状物形式存在于衬底表面上,使反应物 B 的表面饱和难以实现。多种表面条件可延缓反应物 B 在衬底表面上的成核以及饱和。例如,反应物 A 和 / 或 B 吸附时释放的配体可阻断一些表面活性位点,阻止进一步的反应物 B 的吸附。因此,在一些实施方式中,可通过在反应物 B 暴露阶段 140A 期间,调整反应物 B 流和 / 或以不连续脉冲形式发送反应物 B 进入处理站,提供连续的反应物 B 吸附层。与恒定流率情况相比,这可能会给表面吸附和解吸附过程提供额外的时间同时节约反应物 B。另外,或者备选地,在一些实施方式中,在反应物 B 的连续暴露之间可包括一或多个清除阶段。

[0040] 在等离子体激活之前,在一些实施方式中在清扫阶段 160A 中可从处理站除去气态反应物 B。清扫处理站可避免其中反应物 B 对等离子体激活不稳定的气相反应或其中可能形成不需要物质的气相反应。此外,清扫处理站可除去表面吸附的配体,否则该配体可保留并污染所述膜。示例的清扫气体可包括,但不限于,氩气,氦气,和氮气。在图 1 中所示的实施方式中,通过连续的惰性气体流供应用于清扫阶段 160A 的清扫气体。在一些实施方式中清扫阶段 160A 可包括一或多个用于排空处理站的排空子阶段。或者,应理解的是,在一些实施方式中可省略清扫阶段 160A。

[0041] 清扫阶段 160A 可具有任意适当的持续时间段。在一些实施方式中,一或多种清扫气体的流率的增加可减少清扫阶段 160A 的持续时间。例如,可根据各种反应物的热力学特性和 / 或处理站和 / 或处理站管道(process station plumbing)的几何特征调节清扫气体流率,从而改变清扫阶段 160A 的持续时间。在一个非限制性实施例中,可通过调节清扫气体流率来优化清扫阶段的持续时间。这可以减少沉积循环时间,从而提高衬底吞吐量。

[0042] 在图 1 中所示的实施方式的等离子体激活阶段 180A,提供等离子体能,以激活在表面吸附的反应物 A 和 B 之间的表面反应。例如,等离子体可直接或间接激活反应物 A 的气态分子,形成反应物 A 自由基。然后这些自由基可与表面吸附的反应物 B 相互作用,导致发生成膜表面反应。等离子体激活阶段 180A 使沉积循环 110A 结束。在图 1 的实施方式中的沉积循环 110A 之后是沉积循环 110B,该循环 110B 初始是反应物 A 暴露阶段 120B,接着

是 B 暴露阶段 140B, 清扫阶段 160B 以及等离子体激活阶段 180B。

[0043] 在一些实施方式中, 在等离子体激活阶段 180A 中点燃的等离子体可以直接在衬底表面上方形成。这可提供更大的等离子体密度, 并增加反应物 A 和 B 之间的表面反应速率。例如, 可通过采用两个电容耦合板向低压气体施加射频 (RF) 场, 来产生用于 CFD 工艺的等离子体。可采用任意适当的气体形成等离子体。在该实施例中, 诸如氩气或氦气之类的惰性气体与反应物 A (含氮反应物) 一起使用, 形成等离子体。由 RF 场电离化在所述电容耦合板之间的气体, 点燃等离子体, 在等离子体放电区域产生自由电子。这些电子被 RF 场加速, 并可撞击气态反应物分子。这些电子与反应物分子的撞击可形成参与沉积处理的自由基物质。应理解的是, 可通过任意适当的电极耦合所述 RF 场。电极的非限制性实例包括处理气体分配喷头和衬底支撑基座。应理解的是, 除了 RF 场对气体的电容耦合以外, 还可采用一或多种适当的方法形成用于 CFD 工艺的等离子体。

[0044] 等离子体激活阶段 180A 可具有任意适当的持续时间。在一些实施方式中, 等离子体激活阶段 180A 可具有一段持续时间, 其超过等离子体激活的自由基与所有经暴露的衬底表面和被吸附物质相互反应并在衬底表面顶部形成连续的膜所需的时间。例如, 在图 1 中所示的实施方式包括在等离子体激活阶段 180A 中的等离子体饱和后暴露时间 190。

[0045] 在一些实施方式中, 延长等离子体暴露时间和 / 或提供多个等离子体暴露阶段可能提供大量的反应后处理和 / 或沉积的膜的近表面部分。在一实施方式中, 减少表面污染可制备得到用于吸附反应物 A 的表面。例如, 由含硅反应物和含氮反应物的反应形成的氮化硅膜可具有表面, 其可阻挡随后反应物的吸附。用等离子体处理所述氮化硅表面可产生氢键, 有利于随后的吸附和反应事件。在本文中描述的 SiN 膜可暴露除了等离子体以外的处理。

[0046] 在一些实施方式中, 可采用除了等离子体处理以外的处理来改变如上沉积的膜的性质。这些处理包括电磁放射处理, 热处理 (例如, 退火或高温脉冲处理), 等等。任意的这些处理可单独实施, 或与另一处理 (包括等离子体处理) 联合实施。任意的这些处理可用作上述任意等离子体处理的替代方式。在一特定实施方式中, 所述处理包括使上述膜暴露于紫外线辐射。如下文所述, 在一特定实施方式中, 所述方法包括在原位 (即, 在形成膜期间) 或在沉积膜之后向膜施加 UV- 辐射处理。这样的处理用于减少或消除缺陷结构, 并提供改善的电气性能。

[0047] 在某些特定实施方式中, 可将 UV 处理与等离子体处理联合。可同时或顺序操作这两个操作。在顺序操作的选择中, 可选择首先进行 UV 操作。在同时操作的选择中, 可从不同的来源 (例如, 用于等离子体的 RF 功率源和用于 UV 的灯) 或者从单一来源提供所述两种处理, 其中所述单一来源为例如产生作为副产物的 UV 射线的氦气等离子体。

[0048] 在一些实施方式中, 可通过改变等离子体参数来调节诸如膜应力、介电常数、折射率、刻蚀速率之类的膜的性质。

[0049] 尽管在本文中描述的多个实施例包括两种反应物 (A 和 B), 应理解的是, 在本公开内容的范围内, 可采用任意适当数量的反应物。在一些实施方式中, 可采用单种反应物和一种惰性气体, 所述单种反应物和一种惰性气体提供用于表面反应的等离子体能。或者, 一些实施方式可采用多种反应物来沉积膜。例如, 在一些实施方式中, 可通过含硅反应物与一或多种含氮反应物反应, 或者一或多种含硅反应物与单种含氮反应物反应, 或者一或多种含

硅反应物和一或多种含氮反应物反应,得到氮化硅膜。

[0050] 在某些实施方式中,采用无卤素的含硅的反应物来沉积无卤素的 SiN 膜。图 1 提供了可用于沉积无卤素 SiN 膜的工艺的一个实施例,其中在图 1 的实施例中三硅烷基胺(TSA)用作反应物 B。虽然图 1 提供了沉积 SiN 膜的一个实施例,但是进行各种变化也是可行的。例如,在一些实施方式中,在反应物 A 流和 B 流之间,反应物 A 和 B 可与任选的清扫气体交替应用。在另一实施例中,反应物 A 可以是含硅反应物,而反应物 B 可以是含氮反应物。在一些实施方式中,可仅仅在停止含硅反应物流的时候激发等离子体。

[0051] 在某些实施方式中,采用无卤素的含硅的反应物。在一特定实施例中,采用三硅烷基胺(TSA)作为含硅反应物。TSA 是可分离的、稳定的氨基硅烷。

[0052] 图 2 和 3 描绘了采用 TSA 的工艺流程 200 和 300 的实施例。首先参见图 2,向反应室中提供衬底,参见 205。所述衬底可以是任意适当的在其上需要 SiN 膜的衬底。例如,所述衬底可以是部分制造的集成电路衬底,快闪式存储器衬底或相变存储器衬底。提供的衬底可以是诸如裸硅衬底之类的裸衬底,或在其上沉积有一或多层的衬底。SiN 膜要沉积到其上的表面可以是或者包括,例如,硅,多晶硅,铜,钛,钨,二氧化硅,或锗-铟-碲(GST)合金。在一些实施方式中,所述表面包括一或多个凸起或凹陷的特征。所述一或多个凸起或凹陷的特征可具有例如 2:1-10:1 的深宽比。所述衬底暴露于 TSA,参见 210。在一些实施方式中,操作 210 是无等离子体操作。在一些实施方式中,可对反应器加压至例如约 5-50Torr 范围的第一压强。在一特定实施方式中,在操作 210 期间的压强是约 20Torr。可根据所期望的实施方式采用在该范围以外的压强。TSA 被吸附到所述衬底表面上。在期望数量的 TSA 被吸附到所述表面上之后,停止 TSA 流(未图示)。然后使衬底暴露于一或多种含氮的反应物,参见 215。点燃等离子体,同时在气相中存在有含氮反应物,参见 220,从而在所述衬底上形成无卤素的 SiN 膜。在一些实施方式中,在反应器中的压强是循环的,使得在操作 215 和 / 或 220 期间的压强低于操作 210 的压强。例如,在这些操作期间的压强可以是约 1-5Torr,例如是 2Torr。在一些实施方式中,在操作 220 之后,可停止含氮反应物流。

[0053] 在一实施方式中,在点燃等离子体之前,通过惰性气体流和 / 或含氮反应物流将未吸附到衬底表面的 TSA 清扫出处理腔室。在另一实施方式中,可采用清扫操作除去气态含硅反应物。在一些实施方式中,在操作 220 之后,也可以采用清扫操作。

[0054] 可一或多次重复实施 210-220,积聚(build up)SiN 层。在一实施方式中,重复这些操作,以在所述衬底上形成约 1nm- 约 100nm 厚的保形层。在另一实施方式中,所述保形层的厚度为约 5nm- 约 50nm。在另一实施方式中,所述保形层的厚度为约 5nm- 约 30nm。

[0055] 在一实施方式中,采用任意的本文所述的方法,将衬底加热至约 50℃ - 约 550℃,或更尤其是,约 300℃ - 约 450℃,例如约 350℃或 400℃。在一实施方式中,在沉积的整个过程中加热晶片,在其它实施方式中在沉积过程中周期性地加热晶片或者在沉积步骤之后作为退火而加热晶片。

[0056] 图 3 描绘了工艺流程 300,描绘了所述方法的实施方式的多个方面。向腔室中提供衬底,参见 305。提供一或多种含氮反应物流并持续提供于整个 300 中,参见 310。周期性地使衬底暴露于 TSA,参见 315。并且仅在停止 TSA 反应物流时周期性地点燃等离子体,参见 320。在一实施方式中,通过惰性气体流和 / 或含氮反应物流将未吸附到衬底表面的 TSA 清扫出处理腔室。在另一实施方式中,可采用清扫操作。在所述等离子体处理之后,所述循

环完成。可重复操作 310-320 多次,以积聚具有所需厚度的层。

[0057] 图 4 描绘了工艺流程 400,描绘了一种方法的实施方式的多个方面。向腔室中提供衬底,参见 405。形成载流,参见 410。使衬底暴露于含氮反应物,参见 415。使衬底暴露于含硅反应物,参见 420。在停止含硅反应物流之后,点燃等离子体,参见 425。该反应形成 SiN。实施 410-425 一或多次,以积聚具有所需厚度的层。在该方法中,415 和 420 不一定以目前的顺序实施。含氮反应物流可以是或可以不是连续的。

[0058] 可向任意的上述工艺加入多种额外的操作。例如,在一些实施方式中,在所有的或部分的 SiN 膜形成至所需的厚度之后,可使 SiN 膜暴露于氢气等离子体。这可从所述 SiN 膜除去(如果有的话)碳成分(carbon content)。在一实施方式中,采用氢气(H₂)和诸如氮气、氦气或氩气之类的载气产生氢气等离子体。可采用其它的含氢气气体或由远程等离子体源产生的激活氢原子来处理所述沉积的膜。而且,在一些实施方式中,可通过改变一或多个处理脉冲的数量以及其持续时间、处理等离子体的密度、衬底温度和处理气体组合物,调节所述膜的碳成分至任意适当的浓度。

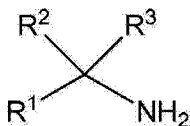
无卤素的含硅的反应物

[0059] 尽管图 2-4 提供采用 TSA 沉积 SiN 的示例性工艺流程,但是在一些实施方式中,除了采用 TSA 以外还采用或不是采用 TSA 而是采用无卤素氨基硅烷沉积其它 SiN 膜。所述 TSA 或其它氨基硅烷可以是未经取代的或是任选经任意无卤素的取代基取代的。在一些实施方式中,采用未经取代的 TSA (SiH₃)₃N。在一些实施方式中,可采用经一或多个含碳取代基取代的 TSA。含碳取代基的实例包括烷基,烯基,炔基和其它有机基团。

[0060] 无卤素的含硅的反应物的采用对于在某些衬底上沉积是有利的,其中这些衬底尤其容易受到沉积工艺的卤化物副产物的蚀刻和/或腐蚀。这些包括金属衬底,例如铜,钨,钛衬底和 GST 合金。例如,钨和氯化物副产物可反应形成挥发性的六氯化钨,除去位于下面的钨。在另一实施例中,氯化物气体可腐蚀铜。

[0061] 无卤素的含硅的反应物的应用还可有利于低温(例如 400°C 和小于 400°C)反应。这是因为含卤素的硅反应物可产生固体副产物,例如 NH₄Cl,其在低温反应中不能作为挥发性副产物而被清除。由于 TSA 在所述表面上比例如二氯硅烷(DCS)更具有反应性,因此 TSA 可用于低温反应。

[0062] 在一些实施方式中,TSA 可与任意适当的含氮反应物一起使用。在一实施方式中,所述含氮反应物是选自以下组成的组:氨,肼,胺和其混合物。在一实施方式中,含氮反应物包括 C₁₋₁₀ 烷基胺或 C₁₋₁₀ 烷基胺类的混合物。在一实施方式中,所述 C₁₋₁₀ 烷基胺是一级烷基胺或二级烷基胺。在一实施方式中,所述 C₁₋₁₀ 烷基胺是一级烷基胺。在一实施方式中,所述 C₁₋₁₀ 烷基胺为如式 I 所示:



I

其中 R¹、R² 和 R³ 各自彼此独立地为 H 或 C₁₋₃ 烷基;或 R¹、R² 和 R³ 中的两个与连接它们的碳原子一起形成 C₃₋₇ 环烷基,且 R¹、R² 和 R³ 中的另一个是 H 或 C₁₋₃ 烷基。在一实施方式中,所述 C₁₋₁₀ 烷基胺具有直接连接至氮原子的仲碳原子或叔碳原子。在一实施方式中,所述

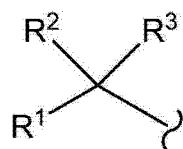
C₁₋₁₀ 烷基胺是选自以下组成的组：异丙基胺，环丙基胺，仲丁基胺，叔丁基胺，环丁基胺，异戊基胺，2-甲基-2-丁胺和己胺(hexylamine)(2,3-二甲基-2-丁胺)。在一实施方式中，在式 I 的 C₁₋₁₀ 烷基胺中，R¹、R² 和 R³ 各自为 C₁₋₃ 烷基。在一实施方式中，所述 C₁₋₁₀ 烷基胺是叔丁胺(TBA)。对于上述理由，TBA 是尤其有用的。

[0063] 在一些实施方式中，产生的 SiN 膜具有不需要的碳成分。这种在膜内的碳可能导致漏电，且可能使得所述膜不能用于一些介电质阻挡应用。碳含量可以改变，但是在一些实施方式中，约 10% 的碳可被认为是过高的。在本文中描述的方法解决了在 SiN 膜中存在有不需要的碳的问题。本文中所述的方法制造具有小于 2% 的碳的 SiN 膜，在一实施方式中得到具有小于 1% 的碳的 SiN 膜，在另一实施方式中得到具有小于 0.5% 的碳的 SiN 膜。在一些实施方式中，碳残留量的减少可以很容易在 FTIR 光谱中被观察到，尽管本领域普通技术人员已熟知其它的可测定在这些范围内的碳含量的分析方法。

[0064] 在一些实施方式中，所述含氮反应物可包含有可热去除基团。可热去除基团是在约 200℃ - 约 550℃ 裂解成挥发性组分的基团。例如，仲碳基团和尤其是叔碳基团在该温度范围内可发生消除反应。在一特定实施例，叔丁基在该温度范围内裂解，生成异丁烯。例如，在加热时，叔丁胺发生消除反应，形成异丁烯和氨。作为另一实施例，叔丁氧基羰基(t-BOC) 也是在例如约 150℃ 热分解，生成异丁烯、二氧化碳以及连接所述 t-BOC 基团的自由基。例如，氨基甲酸叔丁酯热分解得到异丁烯，氨和二氧化碳。

[0065] 可将衬底加热至约 200℃ - 约 550℃，使得所述基团分解并释放它们的碳成分，从而减少所述 SiN 膜的碳含量。所述反应物被吸附到衬底上，采用等离子体将所述反应物转化为 SiN 材料。可通过加热衬底除去剩余的碳基团。可在整个沉积过程中实施所述加热，或者周期性地实施所述加热，以分解所述可热去除基团。在一实施方式中，所述衬底被加热至约 200℃ - 约 550℃，在另一实施方式中被加热至约 350℃ - 约 550℃，在另一实施方式中被加热至 450℃ - 约 550℃，以及在另一实施方式中，被加热至约 450℃ - 约 500℃。在一实施方式中，例如其中采用 TBA，所述 SiN 膜可在约 450℃ - 约 500℃ 被加热约 1 秒 - 约 30 秒，或约 1 秒 - 约 20 秒，或约 1 秒 - 约 10 秒。虽然任意特定的热去除基团将在某一温度阈值裂解，但是采用较高的温度来增加分解的速率，和 / 或作为退火来改善所述 SiN 膜的性能。

[0066] 如上所述，所述可热去除基团可包括仲碳或叔碳官能基。含硅反应物和含氮反应物的任一种或两者可包括一或多个相同的或不同的可热去除基团。在一实施方式中，所述可热去除基团如式 II 所示：



II

其中 R¹、R² 和 R³ 各自彼此独立地为 H 或 C₁₋₃ 烷基；或 R¹、R² 和 R³ 中的两个与连接它们的碳原子一起形成 C₃₋₇ 环烷基，且 R¹、R² 和 R³ 中的另一个是 H 或 C₁₋₃ 烷基；和其中在作为含氮反应物的部分时，每一个所述可热去除基团连接至所述含氮反应物的氮或氧，以及，在作为含硅反应物的部分时，每一个所述可热去除基团连接至所述含硅反应物的硅或氮或氧。在一实施方式中，R¹、R² 和 R³ 各自彼此独立地为 C₁₋₃ 烷基。在一实施方式中，所述可热去除基

团是叔丁基。

无碳含氮的反应物

[0067] 在一些实施方式中,所述含氮反应物是无碳含氮的反应物。实施例包括氨和肼。例如,在一些实施方式中,采用 TSA 和氨分别作为含硅反应物和含氮反应物,用于沉积 SiN。

[0068] 在一些实施方式中,例如采用无碳含氮的反应物沉积用于快闪式存储器的 SiO₂/SiN/SiO₂ (又称为 ONO 堆叠结构(ONO stack)) 的 SiN 膜。沉积的膜可以是无卤素且无碳的,不存在有甚至痕量的卤素或碳(除非其来源于污染源,诸如人类或者在沉积工具中的在先工艺之后的不充分清洁)。

调节应力和湿法刻蚀速率

[0069] 在一些实施方式中,可选择含氮反应物来调节沉积的 SiN 膜的应力和 / 或湿法刻蚀速率。例如,可采用氨或其它无碳含氮的反应物来沉积具有高的湿法刻蚀速率的拉伸膜。

[0070] 在另一实施例中,可采用 TBA 或其它含碳含氮反应物来沉积耐刻蚀压缩膜(etch resistant, compressive films)。

[0071] 在一些实施方式中,可采用两种含氮反应物来调节所需的膜的应力。例如,可采用含碳含氮反应物(例如 TBA)和无碳含氮反应物(例如氨)来沉积具有所需应力和湿法刻蚀速率的 SiN 膜。在一些实施方式中,这些含氮反应物可与 TSA 一起使用,以沉积具有所需应力和湿法刻蚀速率的无氯 SiN 膜。

[0072] 在这种方法中,可获得具有范围是 -4GPa (压缩)至 2GPa (拉伸)的应力的 SiN 膜。例如,在一些实施方式中,通过采用纯 TBA 的含氮反应物流(或其它含碳含氮反应物流)可获得具有约 -4GPa 至约 -2GPa 的应力的压缩 SiN 膜。在一些实施方式中,通过采用纯氨的含氮反应物流(或其它无碳含氮反应物流)可获得具有约 1GPa 至约 2GPa 的应力的拉伸 SiN 膜。在一些实施方式中,通过采用 TBA (或其它含碳含氮反应物)和氨(或其它无碳含氮反应物)的混合物可获得具有约 -2GPa 至 1GPa 的应力的 SiN 膜。

[0073] 可根据特定实施方式以及包括在本文所述多种工艺的等离子体阶段期间的 RF 功率和等离子体持续时间的工艺条件,改变通过采用纯 TBA (或其它含碳含氮反应物)、纯氨(或其它无碳含氮反应物)和这些物质的混合物而获得的应力值。更长且更高功率等离子体可制造更压缩的 SiN 膜。在一些实施方式中,采用 TSA 和仅无碳含氮反应物(例如氨和 / 或肼)沉积得到的 SiN 膜可通过适当地调整 RF 功率而被调节为具有例如 -0.5GPa 的轻微压缩的应力至高达 2GPa 的拉伸应力。

[0074] 在一些实施方式中,例如,可采用 TSA 和无碳含氮反应物、约 0.15W/cm² 的 HFRF 功率沉积得到拉伸(1-2GPa)SiN 膜,采用 TSA 和无碳含氮反应物以及接近 1W/cm² 的 HFRF 功率沉积得到轻微压缩的 SiN 膜。(RF 功率以 W/ 衬底面积表示,例如一个 300mm 的晶片具有约 706cm² 的面积)。通过添加 TBA 或其它含碳含氮反应物可制造更为压缩的膜。在一些情况下,采用 TBA 可能难于形成拉伸膜,这是因为要采用相对高的 RF 功率来分解所述 TBA 分子的叔丁基。因此,采用诸如氨或肼之类的无碳含氮反应物来获得拉伸膜是有利的。所述 RF 等离子体是仅 HF 等离子体,尽管在一些其它实施方式中,可添加 LF 功率。

[0075] 采用 TSA 和无碳反应物体系可获得的湿法刻蚀的范围也大于传统的工艺。例如针对采用 TSA/ 氨沉积得到的 SiN 膜的热氧化物湿法刻蚀速度比率(WERR)对如上所述的低 HFRF 功率可以是约 2.0。增加 HFRF 功率至约 1W/cm² 或以上可使 WERR 降低至约 0.5。这可

与范围是约 0.1 至 1.0 的 DCS/TBA 体系的 WERR 相比拟。

低温下沉积

[0076] 如前所述,因为 TSA 在表面比例如二氯甲硅烷等活性更高,所以 TSA 可用于低温反应。另外,在一些实施方式中,相较于 TBA 或其他的含氮反应物,无碳含氮反应物在低温下能沉积高质量 SiN 膜。例如,DCS/TBA 系统,由于在 TBA 分子中叔丁基基团裂解动力学差,在 400℃及以下的温度开始表现出侧壁沉积下降。

[0077] 在一些实施方式中,使用无卤素氨基硅烷和无碳含氮反应物的 SiN 沉积能够在明显低于可以使用 DCS/TBA 及类似系统的温度下提供高质量 SiN 膜。例如,TSA/ 氨在 350℃,和 400℃或 450℃的温度下提供高质量沉积。相应地,在一些实施方式中,TSA 能够与一种或者多种无碳含氮反应物在 50℃至 450℃,或 50℃至 400℃,或 50℃至 350℃的温度范围内一起使用。

保形膜

[0078] 根据各种各样的实施方式,本文描述的方法能够提供 SiN 膜,该 SiN 膜与其沉积的衬底表面是高度共形的。在一些实施方式中,阶梯覆盖率(step coverage)至少为 90%。用于本说明书的目的,“阶梯覆盖率”定义为 沉积膜的两个厚度的比率,底部阶梯覆盖率是特征底部厚度与特征顶部厚度之比,侧壁阶梯覆盖率是特征侧壁的厚度与特征顶部厚度之比。

设备

[0079] 本发明的另一方面是设置成能完成本文描述的方法的设备。合适的设备包括完成工艺操作的硬件,以及具有用于控制根据本发明的工艺操作的指令的系统控制器。

[0080] 可以理解的是,上述一个或多个实施方式中可以使用任何合适的处理站。例如,图 5 示意地显示了 CFD 处理站 1300。为了简便起见,CFD 处理站 1300 描述成单独的处理站,其具有用于维持低压环境的操作腔室体 1302。然而,可以理解的是,在通常的低压操作工具环境下,可以包括多个 CFD 处理站 1300。虽然在图 5 中描述的实施方式显示为一个处理站,可以理解的是,在一些实施方式中,在操作工具中可以包括多个处理站。例如,图 6 描述了多站的操作工具 2400 的实施方式。另外,可以理解的是,在一些实施方式中,CFD 处理站 1300 的一个或多个硬件参数,包括下文详细讨论的那些,可以被一个或者多个计算机控制器程序化(programmatically)调节。

[0081] CFD 处理站 1300 与用于传输操作气体给散布喷头(distribution showerhead) 1306 的反应物传输系统 1301 呈流体连接。反应物传输系统 1301 包括混合容器(mixing vessel) 1304 用于混合和 / 或对传输到喷头 1306 的操作气体进行状态调整。一或多个混合容器入口阀 1320 控制将操作气体导入混合容器 1304。

[0082] 一些反应物在汽化并随后传输到处理站之前,可以以液态形式存储。例如,图 5 的设备包括汽化点(vaporization point) 1303 用于汽化拟传输到混合容器 1304 中去的液态反应物。在一些实施方式中,汽化点 1303 可以是加热汽化器。这些汽化器产生的饱和和反应物蒸汽可以在下游的传输管道中冷凝。不相容的气体暴露在冷凝的反应物中会产生小颗粒。这些小颗粒会堵塞管道、妨碍阀门运行、污染衬底,等等。解决这些问题的一些方法包括清扫和 / 或疏通传输管道以去除残留的反应物。然而,清扫传输管道会增加处理站循环时间,降低处理站产量。因此,在一些实施方式中,汽化点 1303 的下游传输管道是伴热的

(heat traced)。在一些实施方式中,混合容器 1304 也是伴热的。在一个非限制性的实施方式中,汽化点 1303 的下游传输管道具有升高的温度分步,温度自约 100°C 升高至在混合容器 1304 的约 150°C。

[0083] 在一些实施方式中,液态反应物在液体喷射器中汽化。例如,液体喷射器可以以脉冲的形式把液态反应物喷射到混合容器上游的载体气流中。在一些实施方式中,液体喷射器通过迅速把液体从较高的压力到较低的压力来汽化反应物。可以理解的是,较小的液滴比较大的液滴汽化更快,从而减少液体喷射和完全汽化之间的时间。较快的汽化可以减小汽化点 1303 下游传输管道的长度。在一个实施方式中,液体喷射器直接安装到混合容器 1304 上。在另一个实施方式中,液体喷射器直接安装到喷头 1306 上。

[0084] 在一些实施方式中,汽化点 1303 上游提供有液体流控制器,用于为汽化并传输到处理站 1300 而控制液体质量流。在一个实施方式中,液体流控制器(LFC)包括位于 LFC 下游的热式质量流量计(MFM)。LFC 柱塞阀的调节是响应于由正比-积分-微分控制器(PID)在与 MFM 电气通讯中提供的反馈控制信号。然而,使用反馈控制来稳定液体流可能需要 1 秒或者更多。这可能延长用于液态反应物的定量给料的时间。因此,在一些实施方式中,LFC 在反馈控制模式和直接控制模式之间动态切换。在一些实施方式中,通过禁止 LFC 的传感管和 PID 控制器,LFC 从反馈控制模式动态切换至直接控制模式。

[0085] 喷头 1306 向衬底 1312 散布操作气体。在图 5 所示的实施方式中,衬底 1312 位于喷头 1306 下方,且显示被搁在基座 1308 上。可以理解的是,为了把操作气体散布到衬底 1312,喷头 1306 可以具有任何合适的形状,且可以具有任何合适的数量和端口安排。

[0086] 在一些实施方式中,微腔(microvolume)1307 位于喷头 1306 下方。在微腔中而不是在处理站整个空间执行 CFD 操作,可以减少反应物的暴露和清扫时间,可以减少用于改变 CFD 操作条件(例如,压力,温度等)的时间,可以限制处理站机器人在操作气体中的暴露,等等。示例性的微腔体积包括但不限于,体积为 0.1 升和 2 升之间。

[0087] 在一些实施方式中,基座 1308 可以被抬升或降低以使得衬底 1312 暴露在微腔 1307 中和/或改变微腔 1307 的体积。例如,在衬底转移相,基座 1308 被降低以使得衬底 1312 装载到基座 1308 上。在 CFD 操作相,基座 1308 被抬升以使得把衬底放置在微腔 1307 中。在一些实施方式中,微腔 1307 完全围绕衬底 1312 以及部分基座 1308,以在 CFD 操作中创设出高流阻区域。

[0088] 可选地,在 CFD 操作期间,基座 1308 可以在微腔 1307 内被降低和/或抬升以调节操作压力、反应物浓度等。在一个实施方式中,在 CFD 操作过程中,操作腔室体 1302 维持在基础压力,把基座 1308 降低以使得微腔 1307 被排空。微腔相对于操作腔室体积的示例性比例,包括但不限于,体积比在 1:500 至 1:10 之间。可以理解的是,在一些实施方式中,基座高度可以通过合适的计算机控制器程序化调节。

[0089] 在另一个实施方式中,对基座 1308 高度的调节使得等离子体密度在 CFD 操作中的等离子体激活和/或处理周期是可变的。在 CFD 操作相结束时,基座 1308 在另一个衬底转移相中降低,以使得衬底 1312 从基座 1308 中移除。

[0090] 虽然本文所描述的示例微腔变化是高度可调的基座,可以理解的是,在一些实施方式中,可以相对于基座 1308 调整喷头 1306 位置,以改变微腔 1307 的体积。此外,可以理解的是,基座 1308 和/或喷头 1306 的垂直位置可以通过任何合适的机制改变。本领域普通

技术人员可以理解的是,这样的机制包括,例如,液压装置,气动装置,弹簧机构,螺线管,等等。在一些实施方式中,基座 1308 可包括一个旋转机构,例如,沿着与衬底表面垂直的轴,用于旋转衬底 1312 的方向。可以理解的是,在一些实施方式中,一个或多个这些示例性的调整可以通过一个或多个合适的计算机控制器以编程方式执行。

[0091] 回到图 5 所示的实施方式,喷头 1306 和基座 1308 与 RF 功率源 1314 和匹配网络 1316 电气连接用于给等离子体供电。在一些实施方式中,通过控制一个或多个处理站压力、气体浓度、RF 源功率、RF 源频率、和等离子体电源脉冲计时器来控制等离子体能量。例如,RF 功率源 1314 和匹配网络 1316 可以用任何合适的功率操作以形成具有所需要自由基种类组合的等离子体。合适的功率的例子包括但不限于,介于 100W 至 5000W 之间的功率。同样地,RF 功率源 1314 可提供任何合适频率的 RF 功率。在一些实施方式中,RF 功率源 1314 可设置成控制相互独立的高频率和低频率 RF 功率源。低频率 RF 频率的例子可包括但不限于,介于 50kHz 和 500kHz 之间的频率。高频率 RF 频率的例子可包括但不限于,介于 1.8MHz 和 2.45GHz 之间的频率。可以理解的是,可以离散地或者连续地调节任何适合的参数以提供等离子体能量用于表面反应。在一个非限制性的实施方式中,相较于连续功率的等离子体,等离子体功率可以是间歇地脉冲形式,以减少衬底表面的离子轰击。

[0092] 在一些实施方式中,通过一个或更多的等离子体监视器对等离子体进行原位监测。在一个实施方式中,通过一个或多个的电压、电流传感器(例如,VI 探针)对等离子体功率进行监测。在另一实施方式中,通过一个或多个发射光谱传感器(OES)对等离子体密度和/或操作气体浓度进行测量。在一些实施方式中,基于这些原位等离子体监视器的测量值,对一个或多个等离子体参数进行程序化调节。例如,OES 传感器可在反馈回路中使用,用于提供对等离子体功率的程序化(programmatic)控制。可以理解的是,在一些实施方式中,其他监视器可以用来监测等离子体和其它工序的特征。这些监视器包括,但不限于,红外(IR)监视器、声学监视器、和压力传感器。

[0093] 在一些实施方式中,等离子体是通过输入/输出控制(I/O)排序指令来控制。例如,用于为等离子体操作相设置等离子体条件的指令可以被包括在相应的 CFD 操作配方的等离子体活化配方相中。在一些实施方式中,可依次排列操作配方相,从而使所有用于 CFD 操作相的指令与该操作相同步地执行。可以理解的是,等离子体产生的一些方面可以具有特征明显的瞬态和/或稳定的时间,这有可能延长等离子体操作相。换句话说,这样的时间延迟是可预期的。这种时间延迟可以包括激发等离子体的时间和在指示功率设置稳定等离子体的时间。

[0094] 在一些实施方式中,基座 1308 可以通过加热器 1310 控制温度。另外,在一些实施方式中,可以通过蝶形阀 1318 提供对 CFD 处理站 1300 的压力控制。如图 5 所示,蝶形阀 1318 作为由下游真空泵(未显示)提供的真空的节流阀。然而,在一些实施方式中,处理站 1300 的压力控制可以通过改变导入到 CFD 处理站 1300 的一种或者多种气体的流速来调节。

[0095] 如上所述,多站操作工具可以包括一个或多个处理站。图 6 显示了多站操作工具 2400 的示意图,该多站操作工具 2400 具有内装载锁 2402 和外装载锁 2404,装载锁的任一个或这两者都可能包括远程等离子体源。机械手 2406,在大气压力下,被配置为经由大气端口 2410 通过吊舱(pod) 2408 装载的盒把晶片移入内装载锁 2402。通过机械手 2406 把

晶片放置在内装载锁 2402 的基座 2412 上,该大气端口 2410 关闭,且装载锁向下泵送。当内装载锁 2402 包括远程等离子体源时,晶片在导入到操作室 2414 之前,可暴露于装载锁中的远程等离子体处理。另外,也可以在装载锁 2402 内加热晶片,例如,以除去水分和吸附气体。接着,至操作室 2414 的腔室传输端口 2416 打开,并且另一个机械手(未示出)把晶片放置到第一站的基座上的反应器中用于后续处理。虽然图 6 中所示的实施方式包括装载锁,可以理解的是,在一些实施方式中,可以提供晶片直接进入处理站的方式。

[0096] 所描述的操作室 2414 包括四个处理站,在图 6 所示的实施方式中,编号从 1 到 4。每个站都有一个加热基座(2418 处所示用于站 1),和气体管线入口。可以理解的是,在一些实施方式中,每个处理站可具有不同的目的或多个目的。例如,在一些实施方式中,处理站可以在 CFD 操作模式和 PECVD 操作模式之间切换。另外地或备选地,在一些实施方式中,操作室 2414 可以包括一个或多个配对的 CFD 和 PECVD 处理站。虽然示出的操作室 2414 包括四个站,可以理解的是,根据本发明公开的操作室可具有任何合适数量的站。例如,在一些实施方式中,操作室可以具有五个或更多个站,而在其它实施方式中的操作室可以具有三个或更少的站。

[0097] 图 6 还描绘了在操作室 2414 内传输晶片的晶片处理系统 2490。在一些实施方式中,晶片操作系统 2490 可以在各种处理站之间和 / 或在处理站和装载锁之间传输晶片。可以理解的是,可以采用任何适当的晶片操作系统。非限制性实施方式包括晶片转盘和晶片处理机械手。图 6 描述了系统控制器 2450,用于控制操作工具 2400 的操作条件和硬件状态。系统控制器 2450 可包括一个或多个存储设备 2456,一个或多个大容量存储设备 2454,和一个或多个处理器 2452。处理器 2452 可以包括 CPU 或计算机,模拟和 / 或数字输入 / 输出接头,步进电机控制器板,等等。

[0098] 在一些实施方式中,系统控制器 2450 控制操作工具 2400 的所有活动。系统控制器 2450 执行存储在大容量存储设备 2454 中的、加载到存储设备 2456 的和在处理器 2452 上执行的系统控制软件 2458。系统控制软件 2458 可包括用于控制计时、气体混合、腔室和 / 或站压力、腔室和 / 或站温度、晶片温度、目标功率水平、RF 功率水平、衬底基座、夹盘和 / 或感受器(susceptor)位置、和由操作工具 2400 执行的特定工艺的其他参数。系统控制软件 2458 可以以任何合适的方式配置。例如,可以编写各种操作工具组件的子程序或控制对象用于控制操作工具组件执行各种操作工具操作所必须的操作。可以以任何合适的计算机可读的编程语言编码系统控制软件 2458。

[0099] 在一些实施方式中,系统控制软件 2458 可包括输入 / 输出控制(I/O)排序指令,用于控制上面描述的各种参数。例如,CFD 操作的各相可以包括用于由系统控制器 2450 执行的一个或多个指令。相应的 CFD 配方相可以包括用于设定 CFD 操作相操作条件的指令。在一些实施方式中,CFD 配方相可以依次排列,从而使得用于 CFD 操作相的所有指令与该操作相同步执行。

[0100] 在一些实施方式中可以采用与系统控制器 2450 相关联的、存储在大容量存储设备 2454 和 / 或存储设备 2456 上的、其他计算机软件和 / 或程序。用于此目的的示例性程序或部分程序包括衬底定位程序、操作气体控制程序、压力控制程序、加热器控制程序和等离子体控制程序。

[0101] 衬底定位程序可以包括用于操作工具组件的程序代码,该操作工具组件把衬底装

载到基座 2418 且控制衬底和操作工具 2400 其他部件之间的距离。

[0102] 操作气体控制程序可以包括代码,该代码用于控制气体成分和流速,且可选地用于在沉积之前把气体通入一个或者多个处理站以便稳定处理站压力。压力控制程序可包括通过调节例如处理站的排放系统内的节流阀和进入处理站的气流等来控制处理站内的压力。

[0103] 加热器控制程序可以包括用于控制加热单元电流的代码,该加热单元用于加热衬底。可选地,加热器控制程序可以控制热传输气体(例如氦气)传输到衬底。

[0104] 等离子体控制程序可以包括代码,其用于设置应用到一个或者多个处理站中操作电极的 RF 功率水平。

[0105] 在一些实施方式中,可以有与系统控制器 2450 相关的用户界面。该用户界面可以包括显示屏、设备和 / 或操作条件的图解软件显示、及用户输入装置,例如定点设备、键盘、触摸屏、麦克风,等等。

[0106] 在一些实施方式中,由系统控制器 2450 调整的参数可能涉及操作条件。非限制性例子包括操作气体成分和流速、温度、压力、等离子体条件(如 RF 偏置功率水平)、压力、温度,等等。这些参数可以以配方的形式提供给用户,这可利用用户界面输入。

[0107] 用于监测操作的信号可以从各种操作工具传感器由系统控制器 2450 的模拟和 / 或数字输入接头提供。用于控制操作的信号可以在操作工具 2400 的模拟和数字输出接头输出。可被监测的操作工具传感器的非限制性例子包括质量流量控制器、压力传感器(如压力计)、热电偶、等等。来自这些传感器的数据可以与适当地程序化的反馈和控制算法一起使用,以维持操作条件。

[0108] 系统控制器 2450 可提供用于实现上述的沉积方法的程序指令。该程序指令可以控制各种工艺参数,例如 DC 功率水平、RF 偏压功率水平、压力、温度、等等。该指令可以根据本文所描述的各种实施方式,控制用于操作膜堆叠原位沉积的参数。

[0109] 典型地,系统控制器包括一个或多个存储设备和一个或多个处理器,其被配置为执行指令,以使得该装置执行根据本发明的方法。包含用于控制根据本发明的工艺操作的指令的机器可读介质,可以被耦合到系统控制器。

图案化方法 / 设备

[0110] 本文描述的设备 / 方法可以与光刻图案化(lithographic patterning)工具或方法联用,例如,用于半导体设备、显示器、LED、光电板等等的制造和生产。通常,但不是必定,这样的工具 / 方法将和普通的制造设施一起使用或操作。膜的光刻图案化通常包括部分或所有的以下步骤,每一步骤用一些可能的工具启动:(1)使用旋涂或喷涂工具在工件(即,衬底)上施用光刻胶;(2)使用热板或炉或 UV 固化工具固化光刻胶;(3)使用晶片分档器(wafer stepper)等工具将光刻胶在可见光或紫外线或 X- 射线下曝光;(4)使用诸如湿法工作台(wet bench)等工具,对抗蚀剂进行显影,以便选择性地除去抗蚀剂,从而进行图案化;(5)通过使用干的或等离子体辅助蚀刻工具,将光致抗蚀图案(resist pattern)转移到基底膜或工件上;和(6)使用诸如 RF 或微波等离子体抗蚀剂剥离器(microwave plasma resist stripper.)等工具,去除抗蚀剂。在一个实施方式中,SiN 膜使用如本文所述的方法形成。SiN 膜用于,例如,本文所述的目的之一。此外,该方法包括如上所述的步骤(1)-(6)中一个或多个。

实施例

[0111] 参照下面的实施例进一步理解本发明, 下面的实施例的目的纯粹是示例性的。另外, 本发明的范围并不限于所示的实施例, 实施例仅仅旨在说明本发明的单个方面。在功能上等同的任何方法, 落入本发明的范围之内。除了本文所描述的那些, 对于本领域技术人员来说, 从前面的描述和附图出发, 对本发明所做的各种各样的修改是显而易见的。此外, 这样的修改都落入所附权利要求的范围。

实施例 1

[0112] 表 1 包括了一些反应伙伴 (reaction partners), 以及可能用于根据本文所描述的实施例制备 SiN 膜的的温度和压力参数。

方法序号	含硅反应物	含氮反应物 (% are vol.%)	温度(°C)	RF 功率密度 (W/cm ²)
A	TSA	NH ₃	50-550	0.15-3
B	TSA	NH ₃	50-450	0.15-0.5
C	TSA	NH ₃	300-400	0.15-0.5
D	TSA	NH ₃	300-400	1-3

方法序号	含硅反应物	含氮反应物 (% are vol.%)	温度(°C)	RF 功率密度 (W/cm ²)
E	TSA	75% NH ₃ / 25% TBA	50-550	0.15-3
G	TSA	50% NH ₃ / 50% TBA	50-550	1-3
H	TSA	25% NH ₃ / 75% TBA	50-550	1-3
I	TSA	TBA	400-550	1-3

[0113] 方法 A 使用 TSA 作为含硅反应物, 用氨作为含氮反应物。根据正在被处理衬底的要求, 温度范围为 50°C 至约 550°C。RF 功率的范围可以从约 0.15W/cm² 至约 3W/cm², 以便如上所述调整应力。

[0114] 方法 B 是方法 A 的一个具体例子, 在一个较低的温度下, 约 50°C 和 450°C 之间 (这取决于对热预算的考量), 使用 TSA 和氨沉积拉伸 SiN 膜。例如, 具有铜膜的衬底, 可在小于约 400°C 的温度下处理, 以防止铜晶粒结构的改变。例如, GST 合金, 可以在温度大约 350°C - 375°C 处理。如上所述, TSA 和氨可用来在这些较低的温度下在合理的沉积速率下提供具有高阶梯覆盖率的高品质膜。RF 功率相对较低以实现拉伸膜。

[0115] 方法 C 是方法 A 的另一具体例子, 在一个较低的温度下, 约 300°C 和 400°C 之间 (这取决于对热预算的考量), 使用 TSA 和氨沉积拉伸 SiN 膜。该温度范围可用于在包括铜、GST 合金、和其他热敏感材料的衬底上沉积 SiN 膜, 同时保持较高的沉积速率。

[0116] 方法 D 是方法 A 的另一具体例子, 且与方法 C 类似, 除了使用更高的 RF 功率以便沉积更高压缩的膜。

[0117] 方法 E-H 是使用氨和 TBA 的混合物作为含氮反应物以便调整所沉积的 SiN 膜的应力 and 湿法刻蚀速率的例子。在一个实施例中, 方法 E 可以与诸如方法 D 那样的较高 RF 水平、与 TBA 一起使用, TBA 的存在会使膜具有更高的压缩。

[0118] 方法 I 是使用 TSA 和 TBA 分别作为含硅和含氮反应物的方法的例子。例如,方法 I 可以用于沉积压缩的无卤素 SiN 膜。

[0119] 在上述方法实施例中,诸如肼等无碳含氮反应物可用于替代氨,或者在氨之外使用。如上所述,其他的含碳反应物可用于替代 TBA,或者在 TBA 之外使用。

实施例 2

[0120] 300 毫米晶片放入真空室。在该室内,该晶片由铝质基座支撑,该铝质基座在整个操作过程中被加热。例如,该基座加热到约 50°C 至约 550°C 之间的一个恒定温度。三硅烷基胺(TSA)作为约 0.25slm 至约 5slm (标准升每分钟)之间的的气相流被引入到反应器中约 1 秒至约 30 秒之间,以把 TSA 吸附到晶片表面上。TSA 流停止后,用惰性气体流清扫反应器中的剩余气相 TSA 和任何副产物。然后,在反应器中建立约 1slm 至约 10slm 之间的氨气相流约 1 秒至约 30 秒之间。一种等离子体,例如,13.56MHz,功率 150W,在晶片的上方点燃约 1 秒至约 15 秒之间。在反应器中的惰性气体流清扫剩余的气相氨和任何副产物。重复 TSA 流、惰性气体清扫、氨流、等离子体和惰性气体清扫,以沉积具有所需厚度的 SiN 膜。每个循环沉积约 0.5 埃至约 1.5 埃之间的 SiN 膜。

[0121] 可替代地,1-5slm 的 TBA 可以用于替代氨,或者在氨之外使用。

[0122] 在另一种替代方案,在 CFD 运行中,氨流(和 / 或 TBA 流)连续运行。在这些运行中,使用如上所述的相同的条件,除了首先建立并维持氨流。以与上述相同的速率和时间,把 TSA 流导入到反应器中,接着如上所述用惰性气体清扫。等离子体如上所述被点燃,接着如上述的惰性气体清扫。重复 TSA 流、惰性气体清扫、等离子体点燃和惰性气体清扫,以沉积具有所需厚度的 SiN 膜。每个所述的循环沉积约 0.5 埃至约 1.5 埃之间的 SiN 膜。

实施例 3

[0123] 如实施例 2 中所描述的方法,通过使用 TSA 和氨在 450°C 温度下沉积 SiN 膜。图 7 显示了沉积膜的 I-V 曲线。值得一提的是, SiN 膜在高达约 22MV/cm 的施加电场不会破裂。图 8 显示了各种特征深宽比的底部和侧面阶梯覆盖率。

[0124] 沉积 SiN 膜的方法使用以下系统 :DCS/TBA, TSA/TBA 和 TSA/ 氨。每种膜的折射率是 DCS/TBA :1.83, TSA/TBA :1.83, TSA/ 氨 :1.90。

[0125] 出于清楚地理解的目的,虽然前面已经描述了一些细节,显然的是,在所附权利要求的范围内可以作出一定的改变和修改。应当注意的是,有许多替代的方式来实施所述的方法、系统和装置。因此,所述的实施方式应被视为说明性的,而不是限制性的。

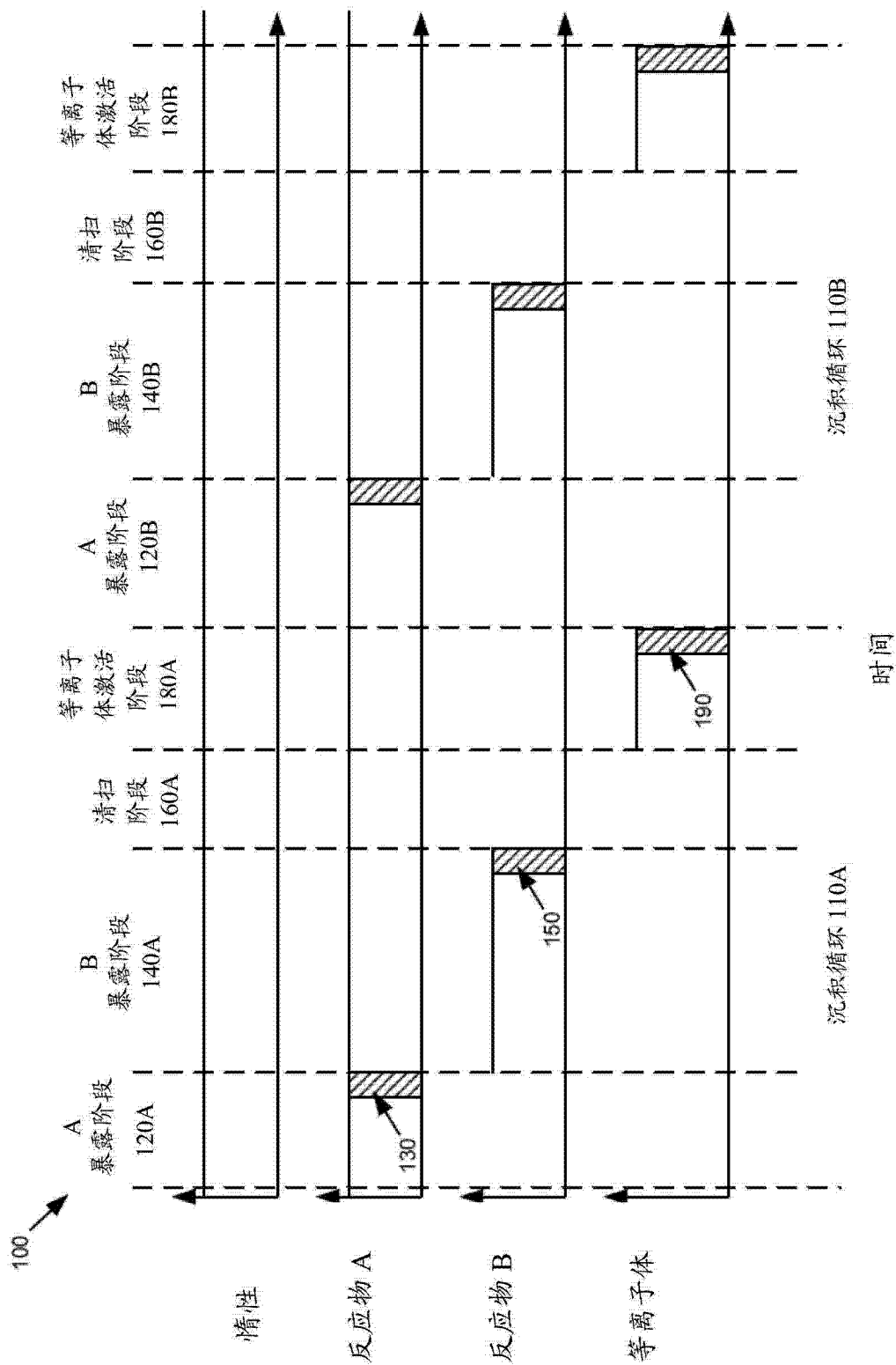


图 1

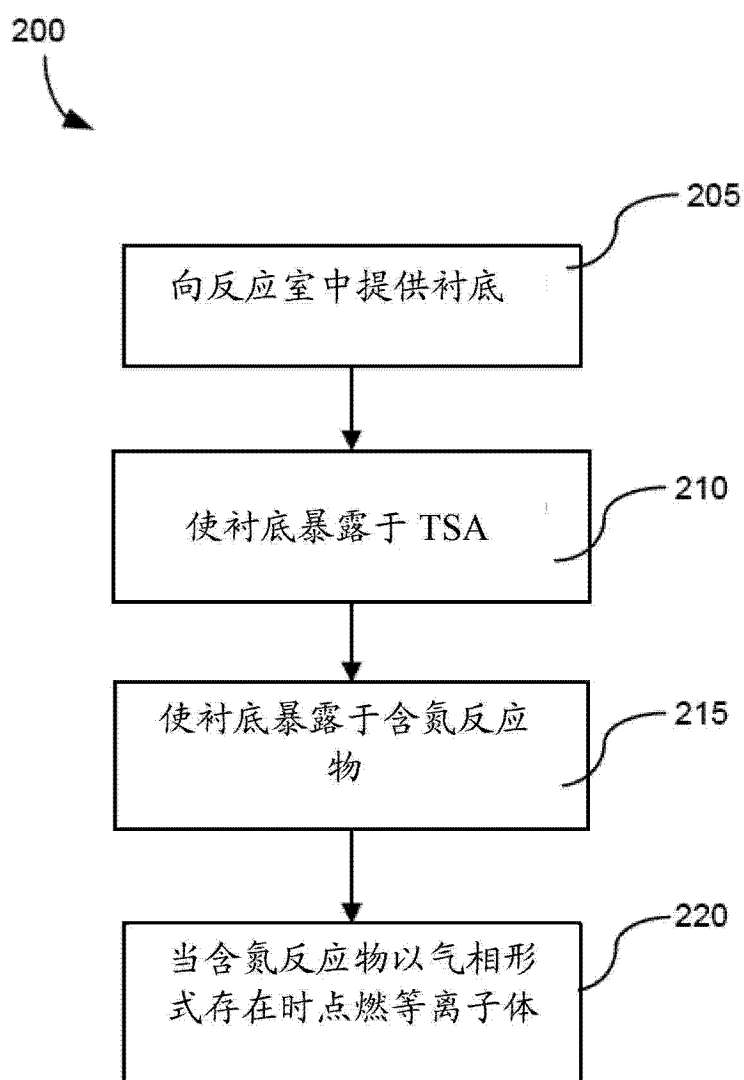


图 2

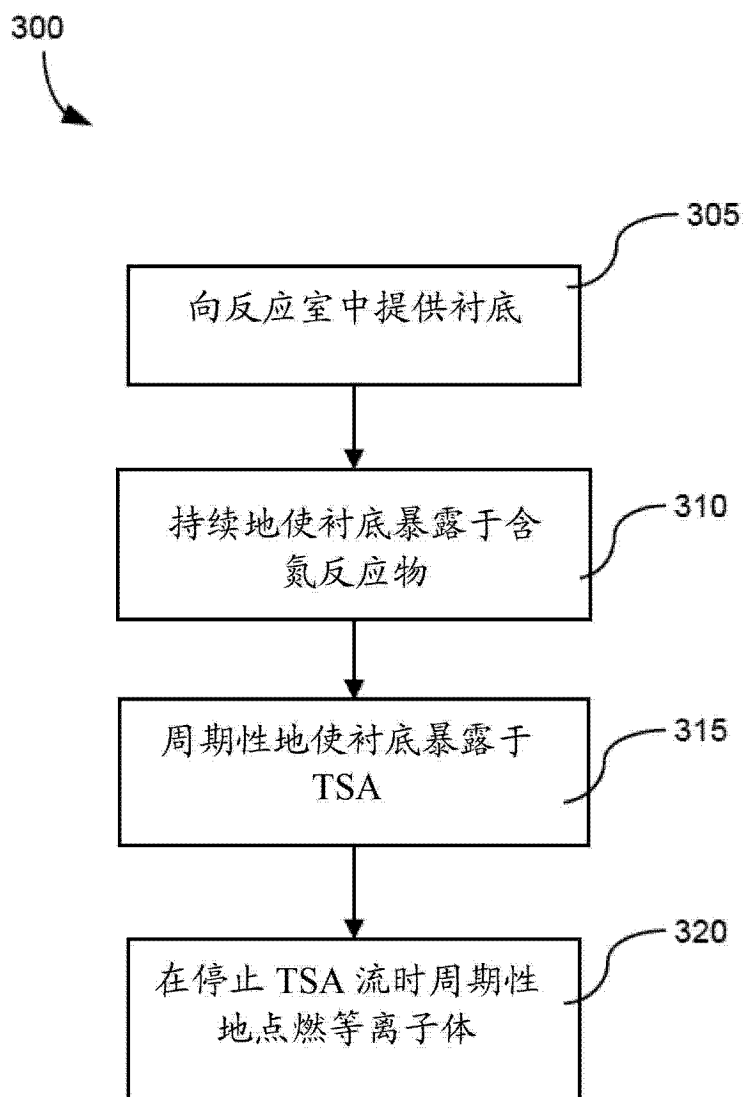


图 3

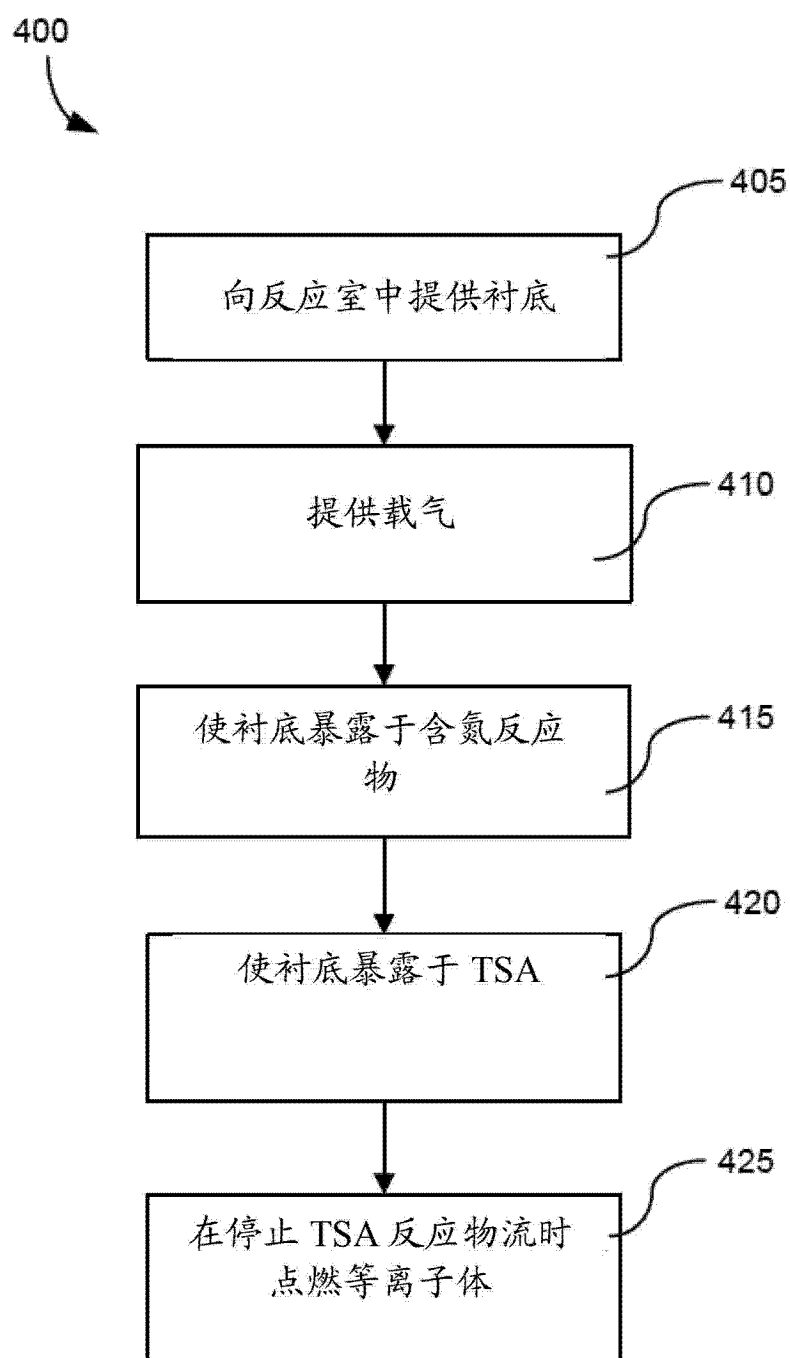


图 4

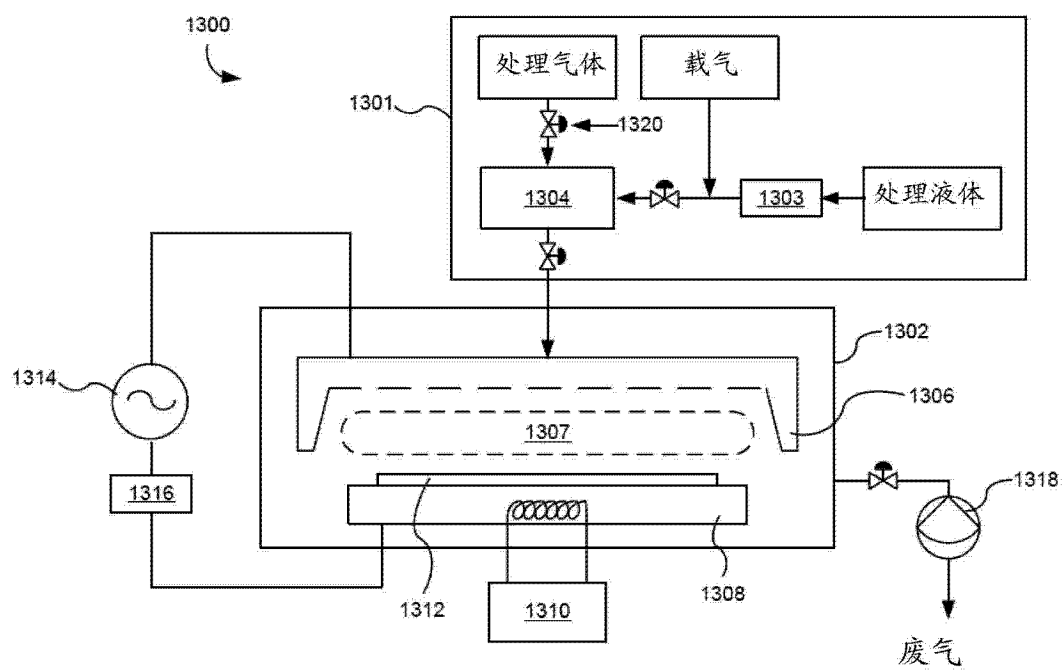


图 5

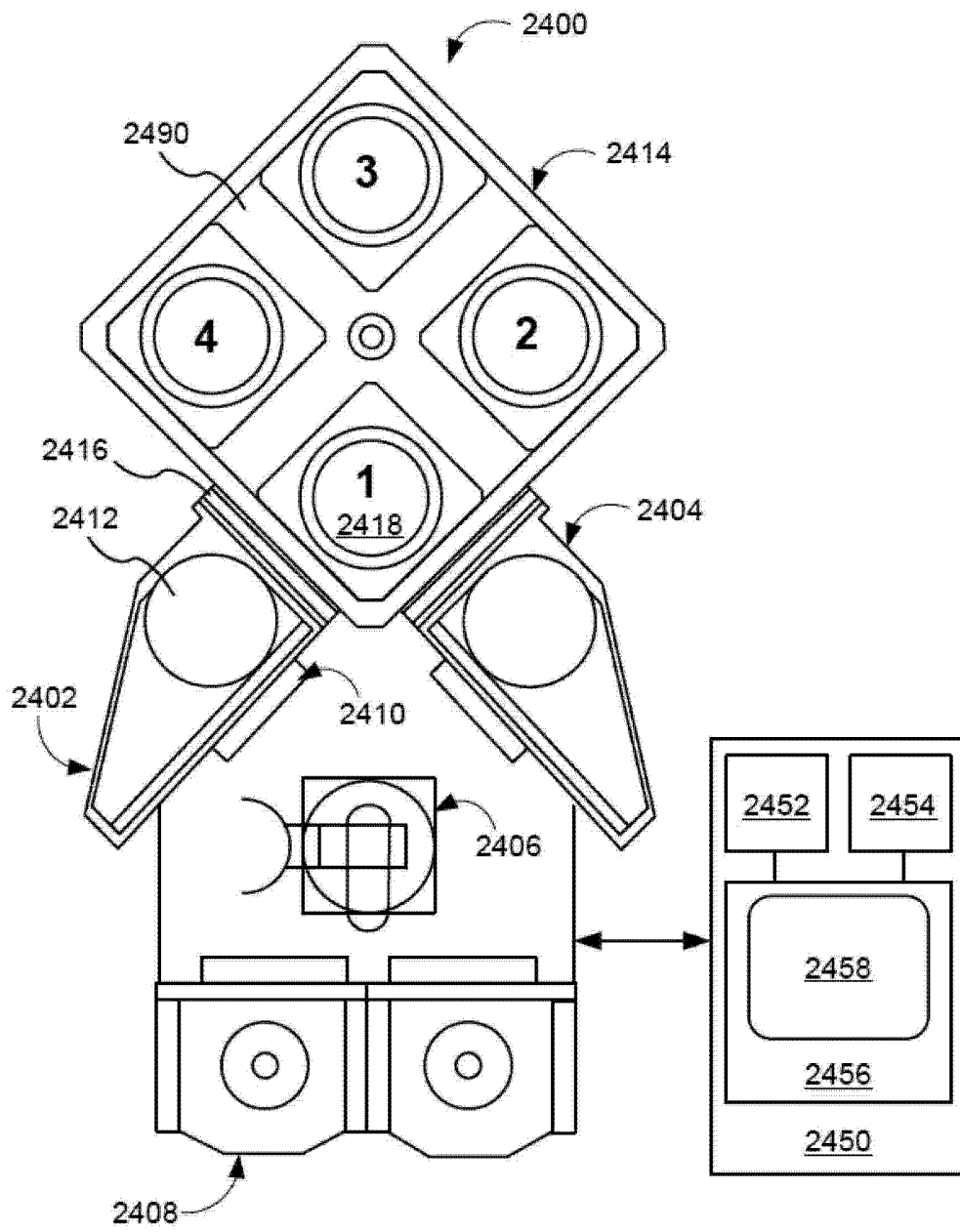


图 6

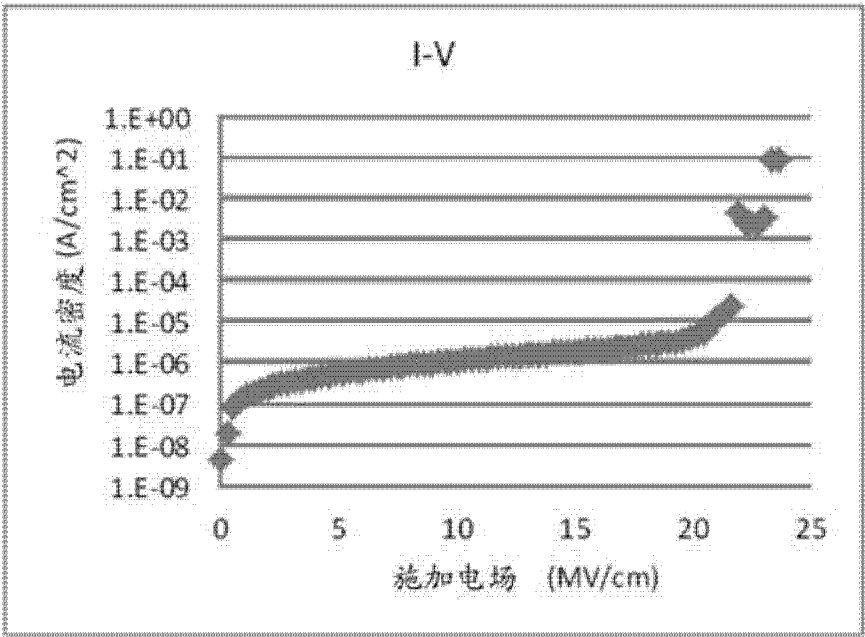


图 7

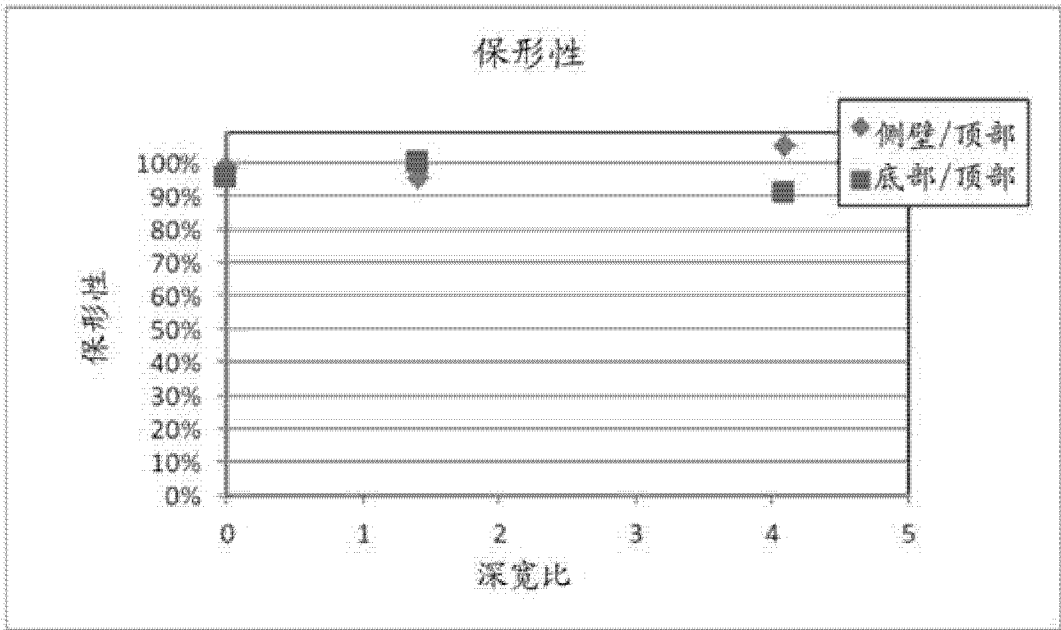


图 8