



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112447483 B

(45) 授权公告日 2022. 02. 22

(21) 申请号 202010884655.5

(22) 申请日 2020.08.28

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112447483 A

(43) 申请公布日 2021.03.05

(30) 优先权数据  
16/556,938 2019.08.30 US

(73) 专利权人 玛特森技术公司  
地址 美国加利福尼亚州  
专利权人 北京屹唐半导体科技股份有限公司

(72) 发明人 T·谢 H·钟 X·鲁 马绍铭  
M·X·杨

(74) 专利代理机构 北京易光知识产权代理有限公司 11596

代理人 崔晓光

(51) Int.Cl.  
H01J 37/32 (2006.01)

审查员 丁钰丰

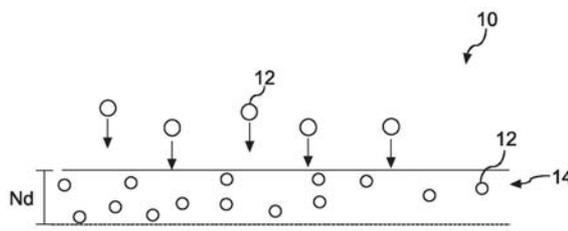
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

用于处理工件的方法

(57) 摘要

本公开提供了用于在工件(如半导体)上提供氮化的工艺。在一个示例实施方式中,一种方法可以包括在工件支撑件上支撑工件。该方法可以包括将工件暴露于从电容耦合等离子体产生的物质,以在工件上提供氮化。该方法还可以包括将工件暴露于从电感耦合等离子体产生的物质,以在工件上提供氮化。



1. 一种在等离子体处理设备中处理工件的方法,所述等离子体处理设备包括处理室和工件支撑件,所述处理室具有用于接收工艺气体的内部,所述工件支撑件用于支撑工件,所述方法包括:

将所述工件放置在所述处理室中的所述工件支撑件上;

使用电容耦合等离子体产生一种或多种物质,所述电容耦合等离子体使用电容耦合等离子体源从第一工艺气体感应出;

将所述工件暴露于使用来自所述第一工艺气体的所述电容耦合等离子体产生的所述一种或多种物质,以在所述工件上提供氮化;

使用电感耦合等离子体产生一种或多种物质,所述电感耦合等离子体使用电感耦合等离子体源从第二工艺气体感应出;以及

将所述工件暴露于使用来自所述第二工艺气体的所述电感耦合等离子体产生的所述一种或多种物质,以在所述工件上增加氮化深度。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述第一工艺气体包括含氮气体。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述含氮气体包括 $N_2$ 、 $NH_3$ 或它们的组合。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述第二工艺气体包括含氮气体。

5. 根据权利要求4所述的方法,其中,所述含氮气体包括 $N_2$ 、 $NH_3$ 或它们的组合。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述第二工艺气体包括含氟气体。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中,所述含氟气体包括 $CF_4$ 、 $NF_3$ 、 $CH_3F$ 或它们的混合物。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述氮化深度为 $5 \text{ \AA}$ 至 $140 \text{ \AA}$ 。

9. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述等离子体处理设备包括设置在所述电感耦合等离子体源和所述处理室的所述内部之间的接地电极,其中,所述电容耦合等离子体源包括RF偏置电极,其中,所述接地电极的表面积大于所述RF偏置电极的表面积。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中,所述接地电极的表面积是所述RF偏置电极的所述表面积的至少两倍。

11. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述工件包括至少一层硅。

12. 一种在等离子体处理设备中处理工件的方法,所述等离子体处理设备包括:处理室,具有用于接收工艺气体的内部;工件支撑件,用于支撑工件;至少一个第一等离子体源,设置在所述处理室内部的上方;以及第二等离子体源,包括耦接到所述工件支撑件中的偏置电极的偏置源,所述方法包括:

将工件放置在所述处理设备的所述处理室的所述内部的所述工件支撑件上;

使第一工艺气体进入所述处理室的所述内部;

激励所述偏置源以在所述处理室的所述内部从第一工艺气体产生一种或多种物质;

将所述工件暴露于该一种或多种物质,以在所述工件上提供氮化深度;

使第二工艺气体进入所述处理室的所述内部;

激励所述第一等离子体源以在所述处理室的所述内部从所述第二工艺气体产生一种或多种物质;以及

将所述工件暴露于该一种或多种物质,以在所述工件上增加所述氮化深度。

13. 根据权利要求12所述的方法,其中,在激励所述第一等离子体源以在所述处理室的

所述内部产生一种或多种物质之前,激励所述偏置源以在所述处理室的所述内部产生一种或多种物质。

14. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述第一工艺气体包括含氮气体。

15. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述第二工艺气体包括含氮气体。

16. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述第二工艺气体包括含氟气体。

17. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述氮化深度为5 Å至140 Å。

18. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述等离子体处理设备包括设置在所述第一等离子体源和所述处理室的所述内部之间的接地电极,其中,所述接地电极的表面积大于所述偏置电极的表面积。

## 用于处理工件的方法

[0001] 优先权要求

[0002] 本申请基于并要求申请日为2019年8月30日的美国申请16/556,938的优先权,其通过引用并入本文。

### 技术领域

[0003] 本公开总体涉及使用等离子体源处理工件。

### 背景技术

[0004] 等离子体处理在半导体工业中广泛用于半导体晶圆和其他基底的沉积、刻蚀、抗蚀剂去除以及相关处理。等离子体源(例如,微波、ECR、电感等)经常用于等离子体处理,以产生用于处理基底的高密度等离子体和活性物质。已经使用等离子体干法剥离工艺实现了注入后光致抗蚀剂、刻蚀后残留物和其它掩模和/或材料的去除。

[0005] 已知各种等离子体源用于实现某些等离子体工艺要求。多频电容耦合等离子体(CCP)源已经用于对离子能量和等离子体密度的独立控制。与RF偏置相结合的电感耦合等离子体(ICP)源也已被用于例如提供对离子能量和等离子体密度的独立控制。ICP源可以使用标准的13.56MHz和较低频率的RF功率发生器容易地产生高密度等离子体。

### 发明内容

[0006] 本发明的各个方面和优点将在下面的具体实施方式中进行部分阐述,或者可以从具体实施方式中显而易见,或者可以通过实践本发明来知悉。

[0007] 本公开的一个示例方面涉及一种在等离子体处理设备中处理工件的方法。等离子体处理设备可以包括用于接收工艺气体的内部和用于支撑工件的工件支撑件。该方法包括将工件放置在处理室中的工件支撑件上;使用电容耦合等离子体产生一种或多种物质,该电容耦合等离子体使用电容耦合等离子体源从第一工艺气体感应出;以及将工件暴露于使用来自第一工艺气体的电容耦合等离子体产生的所述一种或多种物质,以在工件上提供氮化。

[0008] 本公开的方面还涉及一种在等离子体处理设备中处理工件的方法。等离子体处理设备包括:处理室,具有用于接收工艺气体的内部;工件支撑件,用于支撑工件;至少一个第一等离子体源,设置在处理室内部的上方;以及第二等离子体源,包括耦接到工件支撑件中的偏置电极的偏置源。所述方法包括:将工件放置在处理设备的处理室的内部的工件支撑件上;使第一工艺气体进入处理室的内部;激励偏置源以在处理室的内部从第一工艺气体产生一种或多种物质;将工件暴露于所述一种或多种物质,以在工件上提供氮化;使第二工艺气体进入处理室的内部;激励第一等离子体源以在处理室的内部从第二工艺气体产生一种或多种物质;以及将工件暴露于所述一种或多种物质,以在工件上提供氮化。

[0009] 可以对本公开的这些示例实施例进行变形和修改。

[0010] 参考以下具体实施方式和所附权利要求,本发明的这些和其他特征、方面和优点

将变得更好理解。被并入并构成本说明书一部分的附图示出了本发明的实施例,并与具体实施方式一起用于解释本发明的原理。

### 附图说明

[0011] 更具体地在说明书的其余部分(包括参照附图)中对本领域的普通技术人员阐述了包括最佳模式在内的完整且可行的公开内容,其中:

[0012] 图1描绘了根据工件处理方法处理的工件;

[0013] 图2描绘了根据本公开的方法处理的工件;

[0014] 图3描绘了根据本公开的各方面的等离子体处理设备;

[0015] 图4描绘了根据本公开的示例实施例的示例表面处理工艺的流程图;

[0016] 图5描绘了相对于CCP功率的氮化层厚度( $\text{\AA}$ );

[0017] 图6A描绘了暴露于单步CCP方法的工件和暴露于两步(CCP后进行ICP)方法的工件的氮百分比和氮深度;

[0018] 图6B描绘了暴露于CCP氮化方法的工件的透射电子显微镜图像;

[0019] 图6C描绘了暴露于CCP氮化方法后暴露于ICP氮化方法的工件的透射电子显微镜图像;以及

[0020] 图7描绘了暴露于含氟ICP氮化工艺的工件的氮百分比和氮深度。

### 具体实施方式

[0021] 现将详细参考本发明的实施例,其一个或多个示例示于附图中。提供每个示例用于解释本发明,而不是限制本发明。实际上,对于本领域技术人员将显而易见的是,在不脱离本发明的范围或精神的情况下,可以对本发明进行各种修改和变形。例如,作为一个实施例的一部分所示出或描述的特征可以与另一实施例一起使用,以产生又一实施例。因此,本发明旨在涵盖落入所附权利要求及其等同物的范围内的这些修改和变形。

[0022] 本公开的示例方面涉及用于处理工件以在工件上形成含氮层的工艺,该工艺减少了由工件的等离子体氮化引起的结构损伤。简而言之,在一些实施例中,使用本文公开的方法可以在基底(例如硅)上形成富氮层。此外,根据本公开的示例方面的方法可以允许控制形成的氮化层的厚度和氮浓度。

[0023] 氮化工艺已经在半导体制造业中使用。氮化工艺可用于例如提高栅极材料的介电常数、钝化工件表面防止掺杂剂扩散、和/或用作随后进行的刻蚀工艺的硬掩模。氮化工艺的这种不同应用可能需要将不同量的氮加入到工件表面中,这通常由形成的氮化层的厚度和氮浓度来反映。

[0024] 在某些轻剂量氮化方法中(例如,那些形成小于30%的具有N%的工件的方法),使用等离子体的方法可以包括产生大量的氮离子和自由基以与硅反应,从而实现物质表面的氮化。在高剂量氮化方法的情况下(例如,那些形成需要大于40%氮浓度的工件的方法),可以使用离子注入方法。在离子注入方法中,离子在撞击基底之前被加速到非常高的速度。由于具有高动能,因此离子能够更深地渗透到基底的主体中,从而形成更厚和剂量更高的氮掺杂剂层。然而,离子注入方法的问题在于基底或工件经历高的膜损失和结构损伤。这种膜损失和结构损伤可能是由于高能离子束引起的溅射。随着器件结构不断变得越来越小,由

溅射引起的这种膜损失和结构损伤是不利的。作为某些离子注入方法的替代,可以使用等离子体氮化工艺,但是,通过某些等离子体工艺产生的离子和自由基的能量可能不足以引起高剂量氮化。

[0025] 因此,本文提供了处理工件的方法,该方法使用混合电感耦合等离子体和/或电容耦合等离子体中的物质来提高离子能量并由此提高工件中氮化穿透深度。实际上,本文提供的方法的实施例能够将高剂量氮浓度加入到工件的硅表面中。此外,结合电容耦合等离子体的使用和附加电感耦合等离子体处理的使用可以增加工件上的氮剂量,同时减少对工件的结构损伤。因此,本文所述的方法可用于表面改性或轻掺杂氮工艺,以形成作为硬掩模或扩散阻挡层的氮化层,或者可用于调节绝缘层的介电常数。

[0026] 可能有助于所得工件的氮化的两个因素是氮离子/自由基密度和前述物质的能量。因此,本方法提供单独控制的RF源,一个在腔室顶部,一个在等离子体处理设备底部。腔室顶部的RF源在ICP模式下工作。ICP模式通过法拉第屏蔽体经由RF磁场传递能量,有效地产生氮离子/自由基密度。另一个RF源,即腔室底部的RF偏置源,以电容方式耦合到等离子体。电容耦合等离子体模式感应出电场,该电场使离子加速,朝向晶圆。当在CCP模式下操作时,法拉第屏蔽体可以充当接地电极,其相对于工件和RF偏置电极提供大的接地表面。这种设计可以在工件的晶圆侧感应出更高的偏置电压,从而引起更高的离子能量,这使得能够在工件表面上进行高剂量氮化。

[0027] 本公开的各方面提供了许多技术效果和益处。例如,本方法提供了两个单独的RF源,它们可以被单独控制以调节氮离子密度和某些氮物质的相关联的能量。例如,在ICP等离子体的情况下,尽管ICP等离子体由于低离子能量而显示出减少的结构损伤,但氮化效率低。为了提高氮化效率,需要将CCP功率叠加到ICP等离子体上,以提高离子能量。然而,人们注意到,同时使用ICP等离子体和CCP等离子体会导致对工件的严重损伤,这可能会折损氮化效率的提高。为避免这些问题,根据本公开的示例方面的方法证明了仅有CCP等离子体的工艺可能是改善工件氮化及减少损伤的可行方法。此外,使用CCP和ICP的两步工艺(例如,CCP工艺继之以ICP工艺),可以进一步增加氮化层的总厚度,而不会对工件造成显著的结构损伤。此外,在氮化工艺(例如ICP工艺)期间,使用氟气也可以提高在工件上形成高剂量氮层的效率。

[0028] 出于说明和讨论的目的,参考“工件”、“晶圆”或半导体晶圆来讨论本公开的各方面。使用本文提供的公开内容,本领域的普通技术人员将理解,本公开的示例方面可以与任何半导体基底或其他合适的基底结合使用。此外,术语“大约”与数值结合使用是指所述数值的百分之二十(20%)以内。“基座”是指可用于支撑工件的任何结构。

[0029] 例如,图1示出了已经用等离子体工艺进行处理以在工件上提供氮化的工件。工件10可以是硅工件。在暴露于等离子体工艺之后,某些氮物质12已经被注入到工件10中。工件10具有氮化层14,氮化层14从工件10的表面延伸到工件的主体或本体中。如图所示,氮化层14具有特定的氮化深度 $N_d$ , $N_d$ 通常对应于从工件表面到氮物质12中的至少一种已经下沉到工件10中的最低深度的距离。工件10还可以具有氮剂量,该剂量对应于设置在工件10的氮化层14内的氮的百分含量。氮剂量可以对应于氮化层中的氮的原子百分比,即氮化层中氮原子数量相对于原子总数的比。

[0030] 图2示出了已经用根据本公开的示例方面的方法进行处理以在工件上提供氮化的

工件。工件10可以是硅工件。氮物质12已经被注入到工件10中。工件10具有从工件10的表面延伸到工件10的主体或本体中的氮化层14。如图所示,氮化层14具有特定的氮化深度 $N_d$ , $N_d$ 通常对应于工件表面到氮物质12中的至少一种已经下沉到工件10中的最低深度之间的距离。工件10还可以具有氮剂量,该剂量对应于设置在工件10的氮化层14内的氮的百分含量。氮剂量可以对应于氮化层14中的氮的重量百分比或者氮化层14中的氮的体积百分比。

[0031] 比较图1和图2,可以实施根据本公开的示例方面的方法以提供延伸得更深或者进一步延伸到工件10中的氮化深度 $N_d$ 。同样,与通过其他方法处理的工件相比,根据本公开的方法处理的工件10在氮化层中可以具有更高的氮剂量或更高的氮浓度。此外,与通过其他基于等离子体的方法所处理的工件相比,工件10受到更少的损伤(例如,减少的工件基底材料或膜损失)。

[0032] 图3描绘了可用于执行根据本公开的示例实施例的工艺的示例等离子体处理设备100。等离子体处理设备100包括限定内部空间102的处理室。基座或工件支撑件104可用于在内部空间102内支撑工件106(例如半导体晶圆)。介电窗口110位于基底支撑件104上方。介电窗口110包括相对平坦的中心部分112和倾斜的外围部分114。介电窗口110包括在中心部分112中的空间,用于喷头120将工艺气体供给到内部空间102中。

[0033] 设备100还包括多个感应元件,例如初级感应元件130和次级感应元件140,用于在内部空间102中产生感应等离子体。感应元件130、140可以包括线圈或天线元件,当被提供RF功率时,该线圈或天线元件在等离子体处理设备100的内部空间102中的工艺气体中感应出等离子体。例如,第一RF发生器160可以配置为通过匹配网络162向初级感应元件130提供电磁能量。第二RF发生器170可以配置为通过匹配网络172向次级感应元件140提供电磁能量。次级感应元件140可以包括平面线圈142和磁通量集中器144。磁通量集中器144由铁氧体材料制成。使用具有适当线圈的磁通量集中器对次级感应元件140提供了高的等离子体耦合和良好的能量传输效率,并且显著降低了其与金属屏蔽体150的耦合。在次级感应元件140上使用较低的频率(例如大约2MHz),增加了表皮层,这也提高了等离子体加热效率。

[0034] 虽然本公开参考了初级感应元件和次级感应元件,但是本领域普通技术人员应该理解,术语初级和次级仅是出于方便的目的而使用。次级感应元件可以独立于初级感应元件工作,反之亦然。

[0035] 根据本公开的方面,设备100可以包括设置在次级感应元件140周围的金属屏蔽体部分152。如下面更详细讨论的,金属屏蔽体部分152将初级感应元件130和次级感应元件140分开,以减少感应元件130、140之间的串扰。设备100还可以包括设置在初级感应元件130和介电窗口之间的法拉第屏蔽体154。法拉第屏蔽体154可以是减少初级感应元件和处理室102之间的电容耦合的开槽的金属屏蔽体。如图所示,法拉第屏蔽体154可以安装在介电屏蔽体110的倾斜部分上。法拉第屏蔽体154可以电接地。

[0036] 在特定实施例中,金属屏蔽体152和法拉第屏蔽体154可以形成单体150,以便于制造以及其他目的。初级感应元件130的多匝线圈可以位于单体金属屏蔽体/法拉第屏蔽体150的法拉第屏蔽体部分154附近。次级感应元件140可以位于金属屏蔽体/法拉第屏蔽体单体150的金属屏蔽体部分152附近,例如在金属屏蔽体部分152和介电窗口110之间。当感应元件130和140被RF能量激励时,可以从处理室102中的混合物产生电感耦合等离子体,用于直接暴露于工件。

[0037] 在一些实施例中,电感耦合等离子体从工艺气体产生。在一些实施例中,工艺气体通过喷头120进入内部空间102。在一些实施例中,用于产生电感耦合等离子体的工艺气体包括含氮气体。在一些实施例中,含氮气体包括氮气(N<sub>2</sub>)、氨气(NH<sub>3</sub>)及其混合物。在一些实施例中,工艺气体可以进一步包括一种或多种稀释气体。稀释气体可以包括氦气(He)、氩气(Ar)、氢气(H<sub>2</sub>)及其混合物。

[0038] 图3的示例等离子体处理设备包括在基座104中具有偏置电极200的偏置源。偏置电极200可以通过合适的匹配网络204耦接到RF功率发生器202。还可以向偏置电极200提供DC偏置。当偏置电极200被RF能量激励时,可以从处理室102中的混合物产生电容耦合等离子体210,用于直接暴露于工件106。处理室102可以包括用于从处理室102排出气体的排气口212。在根据本公开的示例方面的氮化工艺中所使用的一种或多种物质可以使用电容耦合等离子体产生。在一些实施例中,电容耦合等离子体从工艺气体产生。在一些实施例中,工艺气体通过喷头120进入内部空间102。在一些实施例中,工艺气体包括含氮气体。在一些实施例中,用于产生电容耦合等离子体的含氮气体包括氮气(N<sub>2</sub>)、氨气(NH<sub>3</sub>)或其混合物。在一些实施例中,用于产生电容耦合等离子体的工艺气体可以是用于产生电感耦合等离子体的相同工艺气体。

[0039] 出于说明和讨论的目的,图3描绘了一个示例等离子体处理设备。利用本文提供的公开内容,本领域的普通技术人员将理解,可以使用能够提供电感耦合等离子体和电容耦合等离子体的其他等离子体处理设备,而不偏离本公开的范围。

[0040] 图4描绘了根据本公开的示例方面的一个示例方法(300)的流程图。方法(300)将参考图3的等离子体处理设备100作为示例进行讨论。方法(300)可以在任何合适的等离子体处理设备中实施。出于说明和讨论的目的,图4描绘了以特定顺序执行的步骤。利用本文提供的公开内容,本领域普通技术人员将理解,在不脱离本公开的范围的情况下,可以省略、扩展、同时执行、重新排列、和/或以各种方式修改本文所述的任何方法的各种步骤。此外,在不脱离本公开的范围的情况下,可以执行各种步骤(未示出)。

[0041] 在(302),该方法可以包括将工件106放置在等离子体处理设备100的处理室的内部空间102中。该方法可以包括将工件106放置在处理室中的工件支撑件104上。在一些实施例中,工件106包括至少一层硅或者由硅组成。

[0042] 在(304),该方法可以包括将工件106暴露于使用电容耦合等离子体产生的一种或多种物质,以在工件106上提供氮化。该氮化工艺可以包括使第一工艺气体进入内部空间102。第一工艺气体可以通过任何合适的气体引入机构进入腔室。在一些实施例中,工艺气体通过喷头120进入内部空间102。在一些实施例中,第一工艺气体包括含氮气体。在一些实施例中,含氮气体包括氮气(N<sub>2</sub>)、氨气(NH<sub>3</sub>)或其混合物。在一些实施例中,第一工艺气体可以包括稀释气体。在一些实施例中,稀释气体可以包括氦气(He)、氩气(Ar)、氢气(H<sub>2</sub>)及其混合物。

[0043] 第一工艺气体通过电容耦合等离子体源(例如,设置在工件支撑件中的偏置电极)被激励,以在等离子体处理设备100的内部空间102中产生等离子体。例如,偏置电极200可以被来自RF功率发生器202的RF能量激励,以在等离子体处理设备100的内部空间102中产生等离子体。从电容耦合等离子体源产生的电容耦合等离子体包含暴露于工件106以在工件上提供氮化的一种或多种物质(例如,离子和/或自由基)。在一些实施例中,电容耦合等

离子体使上述物质中的离子/自由基加速,或者增加这些物质中的离子/自由基朝向工件106的动能,这允许工件106的氮化。DC偏置可以作为调整离子能量的工艺参数提供给偏置电极。

[0044] 在一些实施例中,当等离子体处理设备正在运行以产生电容耦合等离子体时,法拉第屏蔽体154也可以作为接地极(grounding electrode)(例如,接地电极(grounded electrode))。法拉第屏蔽体154提供大的接地极或接地电极表面,并且可以相对于位于偏置电极200上的工件106充当接地电极。接地极的表面积大于偏置电极200的表面积,例如是偏置电极200的表面积的至少两倍,例如是偏置电极200的表面积的至少三倍,例如是偏置电极200的表面积的至少五倍。与偏置电极200相比,接地极的这种配置可以在工件106的晶圆侧(即,工件暴露于腔室的内部空间102的一侧,而不是暴露于工件支撑件104的一侧)感应出更高的偏置电压,这引起更高的离子能量。这使得能够在工件106的表面上进行高剂量氮化。

[0045] 在一些实施例中,在暴露于从电容耦合等离子体产生的一种或多种物质(即(304))之后,工件106包括特定的氮化深度 $N_d$ ,深度 $N_d$ 通常对应于工件表面到氮粒子中的至少一个已经下沉到工件106中的最低深度之间的距离。在一些实施例中,氮化深度 $N_d$ 可以为大约 $5 \text{ \AA}$ 到大约 $140 \text{ \AA}$ 。在某些实施例中,本文公开的氮化工艺除了在工件本身中注入氮之外,还可以在工件表面上产生氮层。因此,在某些实施例中,氮化深度 $N_d$ 可以对应于工件的添加的氮层的表面到氮粒子中的至少一个已经下沉到工件106中的最低深度之间的距离。

[0046] 在(306),该方法可以包括将工件106暴露于使用电感耦合等离子体产生的一种或多种物质,以在工件106上提供氮化。该氮化工艺可以包括使第二工艺气体进入内部空间102。第二工艺气体可以通过任何合适的气体引入机构进入腔室。在一些实施例中,第二工艺气体通过喷头120进入内部空间102。在一些实施例中,第二工艺气体包括含氮气体。在一些实施例中,含氮气体包括氮气( $N_2$ )或氨气( $NH_3$ )。在一些实施例中,第二工艺气体包括含氟气体。在一些实施例中,含氟气体包括氟气( $F_2$ )、氢氟酸(HF)、四氟甲烷( $CF_4$ )、三氟化氮( $NF_3$ )、六氟化硫( $SF_6$ )、氟甲烷( $CH_3F$ )、三氟甲烷( $CHF_3$ )、二氟甲烷( $CH_2F_2$ )及其组合或混合物。在某些实施例中,第二工艺气体可以与第一工艺气体相同。

[0047] 第二工艺气体通过电感耦合等离子体源被激励,以在等离子体处理设备100的内部空间102中产生等离子体。例如,感应元件130可以被来自RF功率发生器160的RF能量激励,以在等离子体处理设备100的内部空间102中产生等离子体。从电感耦合等离子体源产生的电感耦合等离子体包含暴露于工件106以在工件上提供氮化的一种或多种物质(例如,离子和/或自由基)。DC偏置可以作为调整离子能量的工艺参数提供给偏置电极。

[0048] 在一些实施例中,在暴露于电容耦合等离子体的一种或多种物质之后,工件106暴露于电感耦合等离子体的一种或多种物质。在其他实施例中,工件暴露于从电感耦合等离子体产生的一种或多种物质(306)是可选的。

[0049] 在一些实施例中,在暴露于从电感耦合等离子体产生的一种或多种物质(即(306))之后,工件106包括特定的氮化深度 $N_d$ ,深度 $N_d$ 通常对应于工件表面到氮粒子中的至少一个已经下沉到工件106中的最低深度之间的距离。氮化深度 $N_d$ 可以为大约 $5 \text{ \AA}$ 到大约

140 Å。在某些实施例中，本文公开的氮化工艺除了在工件本身中注入氮之外，还可以在工件表面上产生氮层。因此，在某些实施例中，氮化深度 $N_d$ 可以对应于工件的添加的氮层的表面到氮粒子中的至少一个已经下沉到工件106中的最低深度之间的距离。

[0050] 在某些实施例中，工件可暴露于从电感耦合等离子体产生的一种或多种物质(306)，以增加工件的氮化深度( $N_d$ )或增加工件106的氮化层14中的氮浓度或氮剂量。在一些实施例中，与仅暴露于电容耦合等离子体(304)相比，将工件暴露于电容耦合等离子体(304)并且随后将工件暴露于电感耦合等离子体(306)，可以将工件106的氮化深度( $N_d$ )增加至少25%。

[0051] 在(308)，该方法可以包括从处理室移除工件106。例如，可以从等离子体处理设备100的内部空间102中的工件支撑件104移除工件106。然后，可以调节等离子体处理设备以用于其他工件的未来处理。

[0052] 与将工件暴露于电容耦合等离子体相关联的示例工艺参数如下所述：

[0053] 工艺气体： $N_2$ 、 $N_2/He$ 、 $N_2/Ar$ 、 $N_2/H_2$ 或 $NH_3$

[0054] 工件温度：20°C至150°C

[0055] 压力：3mT至1000mT

[0056] 偏置功率：50Wb至3000Wb

[0057] 处理周期：30秒至900秒

[0058] 气体流速：20sccm至2000sccm

[0059] 与将工件暴露于电感耦合等离子体相关联的示例工艺参数如下所述：

[0060] 工艺气体： $N_2$ 、 $N_2/He$ 、 $N_2/Ar$ 、 $N_2/H_2$ 或 $NH_3$

[0061] 工件温度：20°C至150°C

[0062] 压力：3mT至1000mT

[0063] ICP源功率：500W至2500W

[0064] 处理周期：30秒至900秒

[0065] 气体流速：20sccm至2000sccm

[0066] 图5描绘了使用电容耦合等离子体的氮化工艺的示例结果。图5绘制了水平轴上的电容耦合等离子体源(偏置电极)功率与垂直轴上的厚度(以埃为单位)。如图5所示，工件上的氮化层厚度可以随着电容耦合等离子体的功率而增加。

[0067] 图6A描绘了使用电容耦合等离子体的氮化工艺以及使用电容耦合等离子体和电感耦合等离子体的氮化工艺的示例结果。图6A绘制了水平轴上的深度(以埃为单位)和垂直轴上的氮百分比。如图6A所示，与仅经受电容耦合等离子体工艺的工件相比，经受两步的电容耦合等离子体和电感耦合等离子体工艺的工件具有更高的氮含量和更大的深度。因此，不受任何特定理论的限制，在一些实施例中，工件可以首先暴露于电容耦合等离子体工艺，然后，随之暴露于电感耦合等离子体工艺，以便增加工件上氮化层的氮含量和深度。

[0068] 图6B示出了暴露于单步的电容耦合等离子体方法的工件的透射电子显微镜图像。如图所示，工件的氮深度大约为106 Å。图6C示出了暴露于电容耦合等离子体方法和电感耦合等离子体方法的工件的透射电子显微镜图像。如图所示，工件的氮深度大约为130 Å。两步工艺(CCP+ICP)产生的氮化深度的总厚度或氮化层的总厚度比单步工艺

(CCP) 高20%以上。

[0069] 图7描绘了使用掺氟的电感耦合等离子体工艺和使用不含氟的电感耦合等离子体工艺的氮化的示例结果。图7绘制了水平轴上的氮化深度(以纳米为单位)和垂直轴上的氮百分比。如图所示,在ICP工艺期间包含氟显著增加了基底中氮的浓度和深度。

[0070] 在不脱离本发明的精神和范围的情况下,本领域的普通技术人员可以实践本发明的这些和其他修改和变形,在所附权利要求中更特别地阐述了本发明的精神和范围。此外,应当理解,各种实施例的方面可以全部或部分互换。此外,本领域的普通技术人员将理解,前面的描述仅仅是示例性的,并不旨在限制在所附权利要求中进一步描述的本发明。

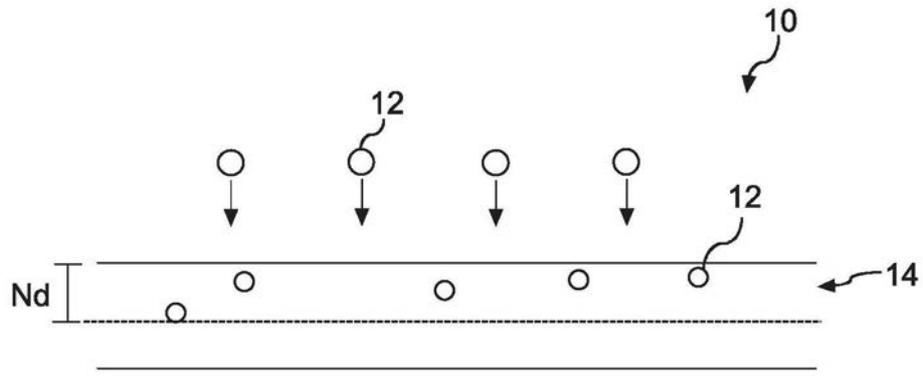


图1

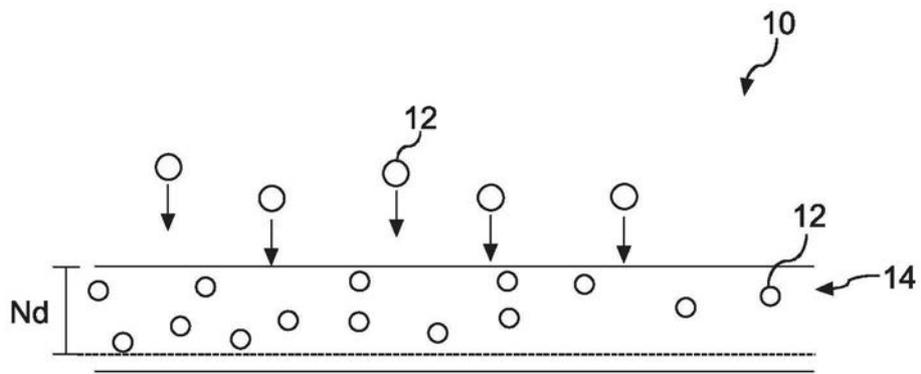


图2

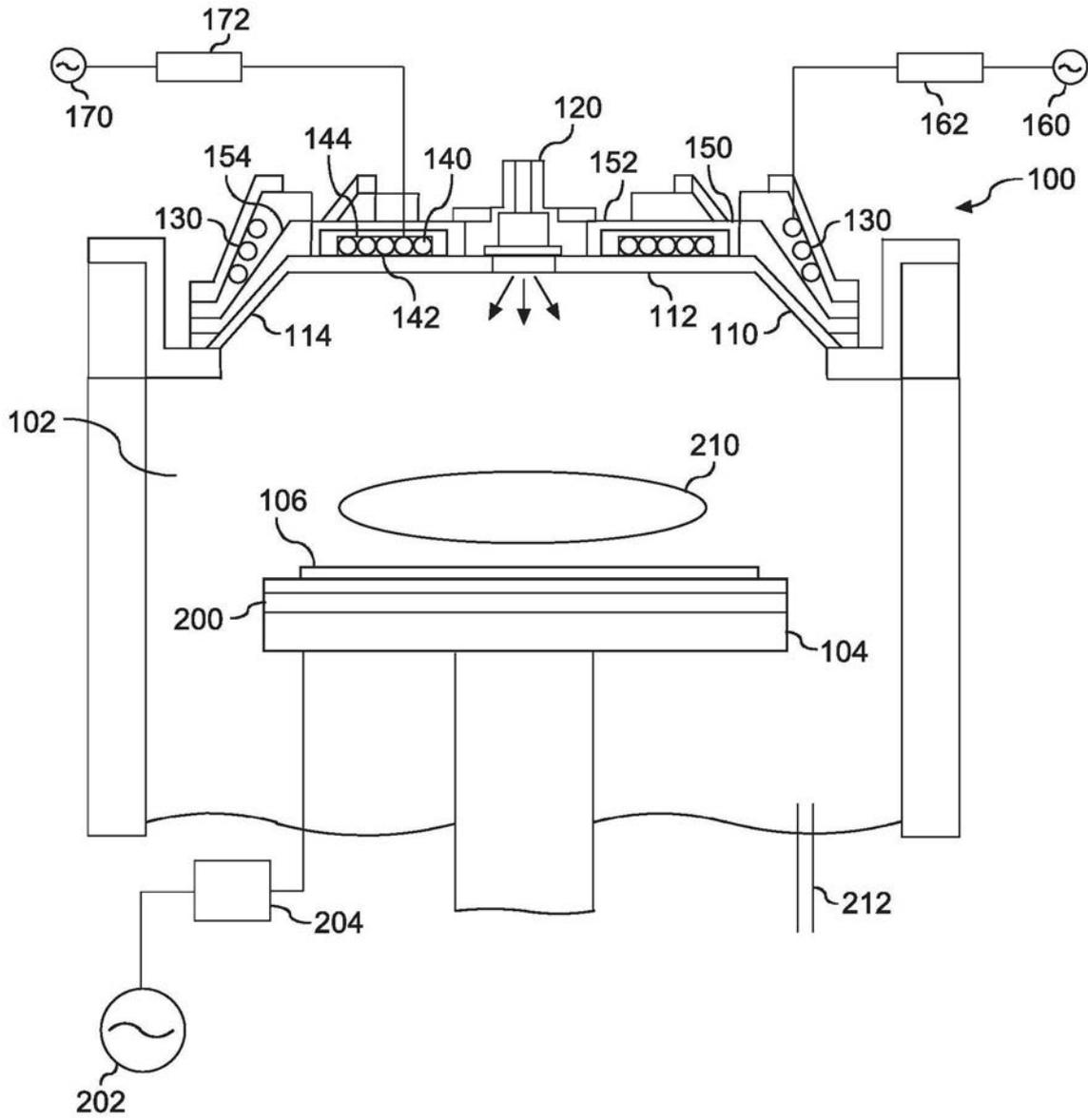


图3

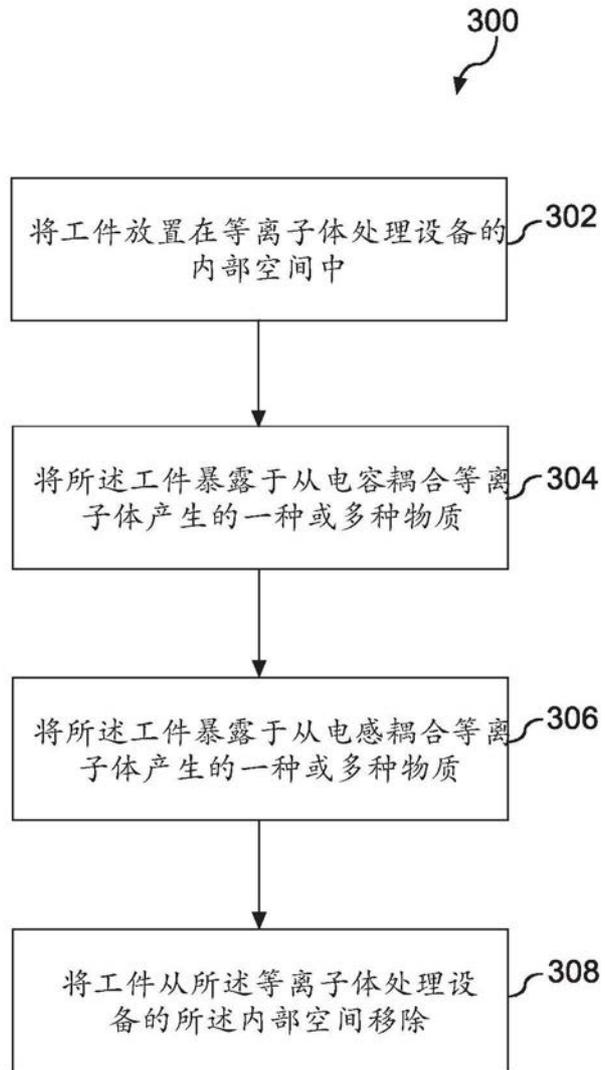


图4

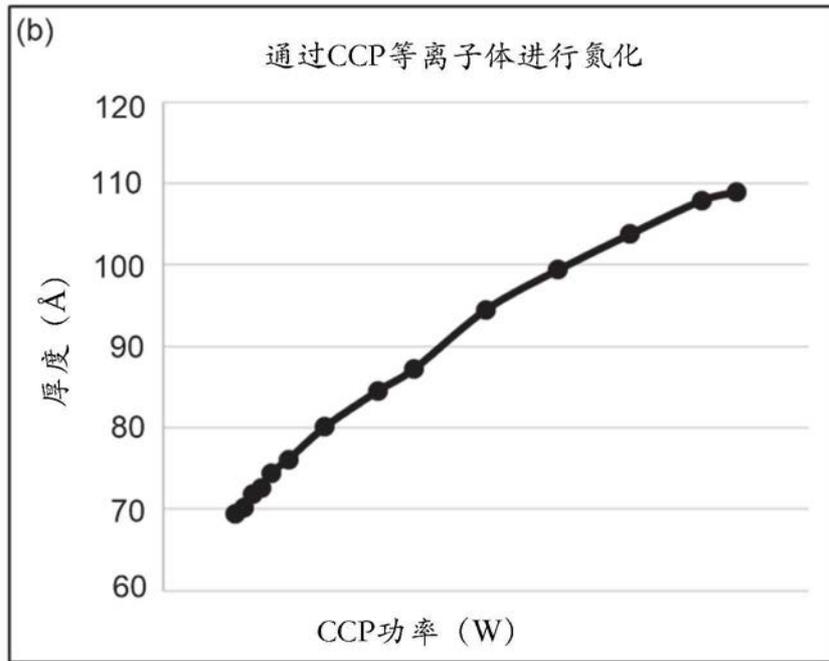


图5

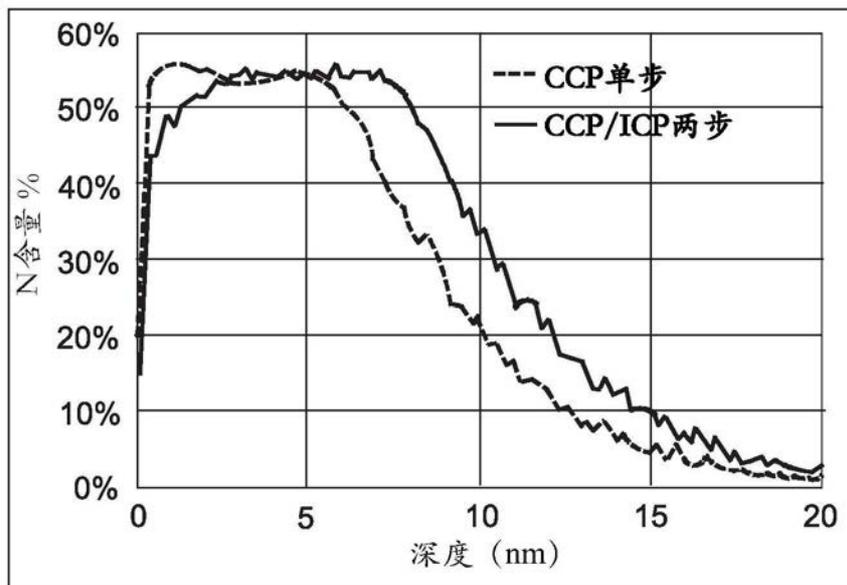


图6A

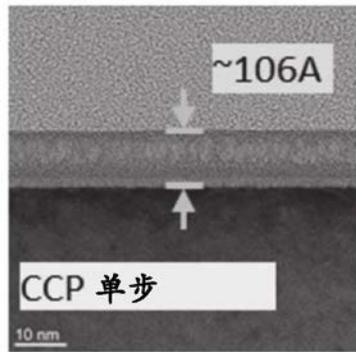


图6B

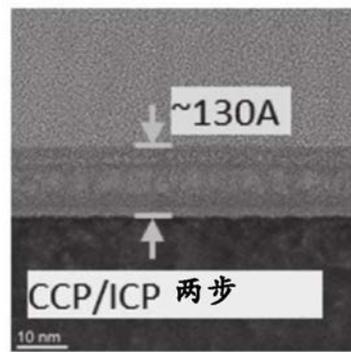


图6C

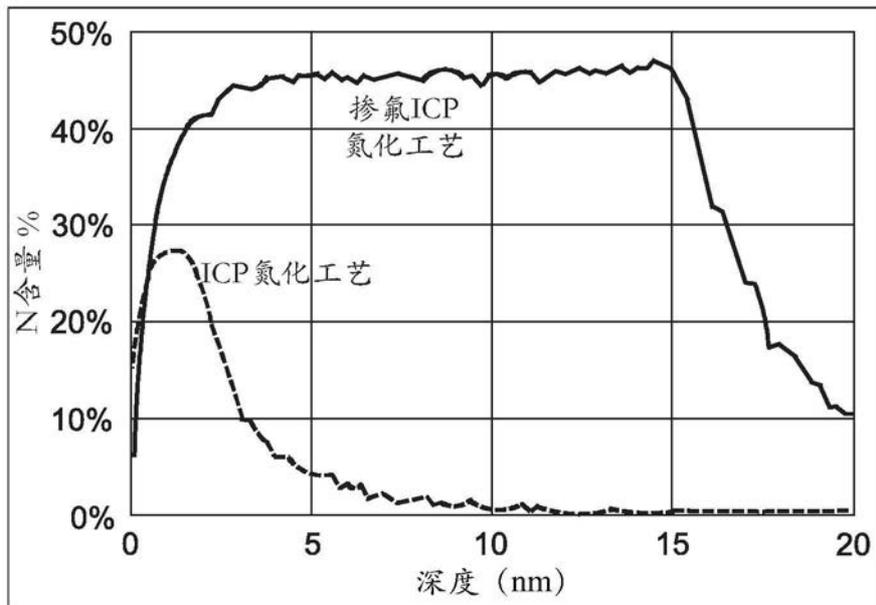


图7