



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107430991 A

(43)申请公布日 2017. 12. 01

(21)申请号 201680011251.7

(22)申请日 2016.01.20

(30)优先权数据

62/119,714 2015.02.23 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.08.21

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2016/014004 2016.01.20

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/137606 EN 2016.09.01

(71)申请人 应用材料公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 梁璟梅 J·C·李 郭津睿

M·斯利尼瓦萨恩

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公
司 31100

代理人 侯颖嫒

(51)Int.Cl.

H01L 21/205(2006.01)

G23C 16/50(2006.01)

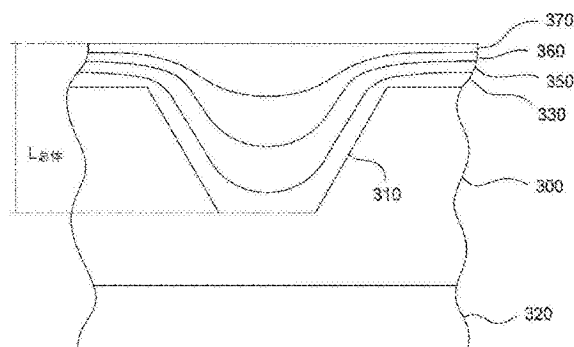
权利要求书2页 说明书9页 附图9页

(54)发明名称

用于形成高质量薄膜的循环连续工艺

(57)摘要

描述用于循环的沉积和固化工艺的方法。本文描述的实施方案提供用于填充形成在基板上的特征的循环连续沉积和固化工艺。填充特征以确保在形成在基板上的集成电路中的特征的电绝缘。本文描述的工艺使用的可流动膜沉积工艺可有效减小在形成在基板上的特征中产生的空隙或接缝。然而,使用可流动膜的传统缝隙填充方法通常包含具有不良物理和电性质的电介质材料。特别是,膜密度是不均匀的,横跨膜厚度的膜介电常数不同,膜稳定性不理想,膜折射率不一致,而且传统的可流动膜中的耐稀释氢氟酸(DHF)性并不理想。循环连续沉积和固化工艺解决本文描述的问题以形成质量较高且寿命增长的膜。



1. 一种用于处理基板的方法,包含以下步骤:

在基板的特征中形成第一可流动膜,所述第一可流动膜具有厚度,其中所述厚度小于所述特征的高度,形成所述第一可流动膜包含以下步骤:

在所述特征中沉积第一可流动膜;

使所述基板暴露于含氧等离子体;

使所述基板暴露于紫外光;以及

重复形成所述第一可流动膜的工艺,以在所述第一可流动膜上方形成一层或更多层第二可流动膜,其中所述第一可流动膜与所述一层或更多层第二可流动膜一起具有等于或大于所述特征的高度的膜厚度。

2. 如权利要求1所述的方法,其中所述第一可流动膜的沉积包含以下步骤:

向基板处理室中的处理区域提供含硅前体,其中所述基板被安置在所述基板处理室中;

向远程等离子体系统提供气体,以形成等离子体活化气体;

将至少一部分的所述等离子体活化气体引入所述处理区域中;以及

使所述等离子体活化气体与所述含硅前体反应以在所述特征中形成所述可流动膜。

3. 如权利要求1所述的方法,其中使所述基板暴露于所述含氧等离子体进一步包含使所述基板暴露于含氮等离子体。

4. 如权利要求1所述的方法,其中使所述基板暴露于所述含氧等离子体进一步包含使所述基板暴露于含碳等离子体。

5. 如权利要求1所述的方法,其中使所述基板暴露于紫外光进一步包含将所述基板定位在被保持在摄氏100度以下的基座上,同时使所述基板暴露于紫外光。

6. 如权利要求1所述的方法,其中当重复形成所述第一可流动膜的工艺时,所述第一可流动膜与所述一层或更多层第二可流动膜中每个膜的厚度在所述工艺的每次重复时增加。

7. 如权利要求1所述的方法,其中所述第一可流动膜与所述一层或更多层第二可流动膜各自具有大致相同的厚度

8. 一种用于填充基板中的特征的方法,包含以下步骤:

在至少一个特征中形成可流动电介质膜,所述可流动电介质膜具有厚度,其中所述厚度小于所述特征的高度,其中形成所述可流动电介质膜包含以下步骤:

向处理室中的处理区域提供硅前体,其中基板被安置在所述处理室中;

形成等离子体;以及

将至少一部分的暴露于所述等离子体的气体引入所述基板处理区域中;

使所述基板暴露于含氧等离子体;

使所述基板暴露于紫外光;以及

重复上述步骤,以在所述可流动膜上方形成附加层的可流动膜,其中所述诸层一起形成可流动膜叠层,所述可流动膜叠层具有膜厚度,所述膜厚度等于或大于所述至少一个特征的高度。

9. 如权利要求8所述的方法,其中所述可流动膜叠层具有均匀的密度。

10. 如权利要求8所述的方法,其中当重复形成所述可流动膜的工艺时,所述附加层的可流动膜中每个膜的厚度在所述工艺的每次重复时增加。

11. 一种形成层的方法,所述方法包含以下步骤:

使不含氧前体流过图案化基板,所述图案化基板被安置到第一基板处理室中;

在所述图案化基板上沉积膜,所述膜具有厚度,其中所述厚度小于在所述基板上的特征的深度;

使所述图案化基板暴露于等离子体;

将所述图案化基板转移到第二基板处理室中,所述第二基板处理室装有紫外光源;

使所述图案化基板暴露于由所述紫外光源提供的紫外光;以及

重复上述步骤,以在所述可流动膜上方形成附加层的可流动膜,其中所述诸层一起形成可流动膜叠层,所述可流动膜叠层具有均匀的密度和膜厚度,所述膜厚度等于或大于所述至少一个特征的高度。

12. 如权利要求11所述的方法,其中所述方法在连续惰性的条件下执行。

13. 如权利要求11所述的方法,其中所述等离子体为含氧等离子体、含氮等离子体、或含碳等离子体。

14. 如权利要求11所述的方法,其中在使所述图案化基板暴露于所述紫外光的过程中,所述图案化基板被安置在基座上,所述基座被保持在摄氏100度以下。

15. 如权利要求11所述的方法,其中对于每个相继的重复来说,所述膜的厚度皆大于所述膜在先前的重复中的厚度。

用于形成高质量薄膜的循环连续工艺

背景

技术领域

[0001] 本公开的实施方案大体而言是关于一种用于在半导体基板上形成薄膜的设备和方法。

背景技术

[0002] 自从几十年前被引进以来,半导体器件几何形状的尺寸已大幅减小。现代的半导体制造设备例行地生产特征尺寸45nm、32nm及28nm的器件,而且新的设备正被开发和实施来制造几何形状甚至更加小的器件。减小的器件尺寸导致结构特征在形成的器件内具有减小的宽度。随着特征的宽度变窄,使用电介质材料填充特征变得更具挑战性。电介质材料沉积工艺很容易在形成于基板上的特征中产生接缝或空隙而无法将特征完全填满。先进的缝隙填充应用采用可流动的化学气相沉积工艺来形成平坦化的电介质膜,同时防止在特征中形成空隙或接缝。

[0003] 用于缝隙填充应用的典型工艺涉及在低温下的整体薄膜沉积步骤、在整体薄膜沉积之后用于薄膜组成物转化的热或非热固化工序、以及在升温下的最终致密化工序。在整体薄膜处理和致密化工序期间,固化的动作会导致薄膜形成具有不同材料特性的区域,此举往往会导致薄膜质量产生变化。

[0004] 尤其,当特征被整体填充时,固化在形成于特征上的沉积层的表面附近产生交联和致密化。这种常被称为“结壳”的表面现象防止紫外光透入特征的更深处,并因此防止整个沉积的材料层完全交联和致密化。在沉积层的不同区域中“固化”的变化会在沉积层的光学、物理及电性质上产生梯度,例如横跨沉积层厚度的介电常数梯度,这会影响器件的电性能和器件产率。

[0005] 此外,部署较小的新电子器件减少了在先进节点沉积电介质材料的热预算。传统的整体薄膜沉积需要在范围可以从摄氏300度到摄氏1100度的温度下进行的最终致密化工序。这样的高温可能会损坏这些先进节点中使用的先进的材料,例如硒锗(Si_xGe_y)和III-V族化合物。

[0006] 因此,需要有助于沉积和形成先进节点中使用的介电层的改良方法。

发明内容

[0007] 本文描述的实施方案大体而言是关于用于缝隙填充的薄膜的沉积和处理。更具体言之,本文描述的实施方案是关于薄膜的循环连续沉积和固化。在一个实施方案中,提供一种薄膜的循环连续沉积和固化方法。该方法包含在低温下沉积薄膜层、在紫外光下固化所沉积的膜、以及在使基板暴露于最终致密化工序之前多次重复该程序。

[0008] 在一个实施方案中,一种用于处理基板的方法可以包括以下步骤:在基板的特征中形成具有厚度的第一可流动膜,其中该厚度小于该特征的高度,形成该第一可流动膜包

括以下步骤:在该特征中沉积第一可流动膜;使该基板暴露于含氧等离子体;使该基板暴露于紫外光;以及重复形成该第一可流动膜的工艺,以在该第一可流动膜上方形成一层或更多层第二可流动膜,其中该第一可流动膜与该一层或更多层第二可流动膜一起具有等于或大于该特征的高度的膜厚度。

[0009] 在另一个实施方案中,一种用于填充在基板中的特征的方法可以包括以下步骤:在至少一个特征中形成具有厚度的可流动电介质膜,其中该厚度小于该特征的高度,其中形成该可流动电介质膜包括以下步骤:向处理室中的处理区域提供硅前体,其中基板被安置在该处理室中;形成等离子体;及将至少一部分的暴露于该等离子体的气体引入该基板处理区域中;使该基板暴露于含氧等离子体;使该基板暴露于紫外光;以及重复上述步骤,以在该可流动膜上方形成附加层的可流动膜,其中所述诸层一起形成可流动膜叠层,该可流动膜叠层具有膜厚度,该膜厚度等于或大于该至少一个特征的高度。

[0010] 在另一个实施方案中,一种形成层的方法,该方法包括以下步骤:使不含氧前体流过图案化基板,该图案化基板被安置到第一基板处理室中;在该图案化基板上沉积具有厚度的膜,其中该厚度小于在该基板上的特征的深度;使该图案化基板暴露于等离子体;将该图案化基板转移到第二基板处理室中,该第二基板处理室装有紫外光源;使该图案化基板暴露于由该紫外光源提供的紫外光;以及重复上述步骤,以在该可流动膜上方形成附加层的可流动膜,其中所述诸层一起形成可流动膜叠层,该可流动膜叠层具有均匀的密度和膜厚度,所述膜厚度等于或大于该至少一个特征的高度。

[0011] 在另一个实施方案中,处理系统可以包括第一腔室,该第一腔室包含与该第一腔室连接的含硅前体源;及等离子体源;第二腔室,包含紫外光源的源;以及具有计算机可执行指令的内存,该计算机可执行指令用于执行方法,该方法包含在至少一个特征中形成具有厚度的可流动膜,其中该厚度小于该特征的高度,而且形成该可流动膜的工艺包含以下步骤:在该特征中沉积可流动膜;使该基板暴露于含氧等离子体;使该基板暴露于来自该紫外光源的紫外光;及重复形成该可流动膜的工艺,以在形成的可流动膜上方形成附加层的可流动膜,其中形成的可流动膜与该一个或更多个附加层各自具有相似的厚度;而且形成的可流动膜与该一个或更多个附加层一起具有等于或大于该至少一个特征的高度的膜厚度。

附图说明

[0012] 为详细了解上述本装置和方法的特征,可参照实施方案(其中一些图示于附图中)而对以上简要概述的装置和方法作更特定的描述。然而,应注意的是,附图仅示出本装置和方法的典型实施方案,因此不应将附图视为限制本装置和方法的范围,因本装置和方法可认可其他同等有效的实施方案。

[0013] 图1为描绘依据本文所述实施方案的循环连续沉积和固化方法的一种实施方案的流程图。

[0014] 图2为依据本文所述实施方案的基板处理系统的一种实施方案的俯视示意平面图。

[0015] 图3A-3E为依照依据本文所述实施方案的循环连续沉积和固化方法的一种实施方案填充的沟槽的一系列剖面示意图。

[0016] 图4为依照依据本文所述实施方案的循环连续沉积和固化方法的一种实施方案填充的特征的剖面示意图。

[0017] 图5A和图5B为通过传统的整体填充沉积和固化工工艺沉积的薄膜(5A)及通过循环连续沉积和固化工工艺的一种实施方案沉积的薄膜(5B)的视觉表示。

[0018] 图6为比较横跨传统整体填充沉积和固化的薄膜的折射率为深度的函数与通过本文所述循环连续沉积和固化方法的一种实施方案沉积的薄膜的折射率为深度的函数的曲线图。

[0019] 图7为比较横跨传统整体填充沉积和固化的薄膜的消光系数为深度的函数与通过本文所述循环连续沉积和固化方法的一种实施方案沉积的薄膜的消光系数为深度的函数的曲线图。

[0020] 图8为比较通过传统整体填充沉积和固化方法沉积的薄膜在七天后的膜稳定性与通过循环连续沉积和固化方法的一种实施方案沉积的薄膜在七天后的膜稳定性的曲线图。

[0021] 图9为通过传统整体填充沉积和固化方法沉积的薄膜与通过循环连续沉积和固化方法的一种实施方案沉积的薄膜相比距离表面不同深度处的湿法蚀刻速率比(WERR)的图形描绘。

[0022] 为了便于理解,已在可能处使用相同的组件符号来指称对于附图相同的元件。构思的是,可以将一个实施方案的元件和特征有益地并入其他实施方案中而无需进一步详述。

具体实施方式

[0023] 本文描述的实施方案大体上提供用以在具有改良的光学、物理、及电性质的集成电路器件内形成层的循环沉积和固化工工艺。更具体来说,本文描述的实施方案提供用于填充形成在基板上的特征的循环连续沉积和固化工工艺。填充特征以确保在形成在基板上的集成电路中的特征的电绝缘。本文描述的工艺可以使用可有效减小在形成在基板上的特征中产生的空隙或接缝的可流动膜沉积工艺。然而,使用可流动膜的传统缝隙填充方法通常产生具有不良物理和电性质的电介质材料。特别是,膜密度是不均匀的,横跨膜厚度的膜介电常数不同,膜稳定性不理想,膜折射率不一致,而且在传统的可流动膜中在清洗工艺期间的耐稀释氢氟酸(DHF)性并不理想。本文描述的循环连续沉积和固化工工艺解决这些问题以形成质量较高的膜,该膜具有改良的材料性质、改良的器件产率、及增长的可用寿命。

[0024] 在一些实施方案中,使用循环连续工艺将可流动薄膜层沉积在其中形成有特征的基板上,以防止沉积层各处的物理性质和电性质产生变化。在沉积可流动膜的薄层之后,基板被任选地预浸泡在等离子体、含自由基气体、气体或上述的组合中,以制备用于固化工工艺的基板。然后使基板暴露于固化工工艺,固化工工艺可以使用紫外光源执行,从而在该薄层中产生交联。然后,循环地重复该工艺直到特征被填满。连续层叠薄膜以填充形成于基板上的特征,在形成于基板上的特征内产生提高的交联均匀性、密度及介电常数值,从而增强形成于基板上的半导体器件的性能和功能性。

[0025] 图1为图示使用循环连续沉积和固化工工艺形成介电层的方法的流程图。在框102,包含特征的基板被定位在处理室的基板处理区域内。基板可以是硅基板、含硅锗的基板、或含III-V族化合物的基板或其他有用的半导体基板材料。形成于基板上的特征可以包括沟

槽、通孔、缝隙、间隔层、其他隔离特征。在一般的特征填充应用中,使膜横跨基板的表面流动以使用电介质材料填充特征。由于基板上的特征的空间尺寸随着半导体几何形状的尺寸减小而减小,所以即使在特征的深度保持不变或增加时,特征的宽度仍缩小。特征的深宽比提高在使用传统的电介质材料填充特征时产生挑战,因为在完全填充特征之前电介质材料容易在顶部夹断或堵塞。这会在电介质材料的表面下方的特征中形成空隙或接缝,此举会损害半导体产品的完整性。本文公开的方法解决了这个需求。

[0026] 在框104,将一种或更多种前体引入沉积室的基板处理区域中,以在形成于基板上的特征上方沉积介电层。在一些实施方案中,该一种或更多种前体是形成电介质材料的前体,例如含硅前体。电介质材料前体的示例是含硅前体,包括硅烷、二硅烷、甲基硅烷、二甲硅烷、三甲硅烷、四甲基硅烷、四乙氧基硅烷 (TEOS)、三乙氧基硅烷 (TES)、八甲基环四硅氧烷 (OMCTS)、四甲基二硅氧烷 (TMDSO)、四甲基环四硅氧烷 (TMCTS)、四甲基二乙氧基二硅氧烷 (TMDDSO)、二甲基二甲氧基硅烷 (DMDMS)、或上述的组合。用于沉积氮化硅的另外的前体包括含 $\text{Si}_x\text{N}_y\text{H}_z$ 前体,例如甲硅烷基胺 (silyl-amine) 及其衍生物,包括三甲硅烷基胺 (TSA) 和二甲硅烷基胺 (DSA); 含 $\text{Si}_x\text{N}_y\text{H}_z\text{O}_{zz}$ 前体、含 $\text{Si}_x\text{N}_y\text{H}_z\text{Cl}_{zz}$ 前体、或上述的组合。可以将电介质材料前体以介于约1sccm和约5000sccm之间的流动速率供应到处理室中。可以将处理前体以介于约1sccm和约1000sccm之间的流动速率供应到处理室中。

[0027] 该一种或更多种前体还可以包括处理前体,该处理前体可以包括含氢化合物、含氧化合物、含氮化合物、或上述化合物的组合。适当的处理前体的示例包括选自包含 H_2 、 H_2/N_2 混合物、 NH_3 、 NH_4OH 、 O_3 、 O_2 、 H_2O_2 、 N_2 、 N_xH_y 化合物 (包括 N_2H_4 蒸气)、 NO 、 N_2O 、 NO_2 、水蒸气、或上述的组合的群组的一种或更多种化合物。处理前体可以是等离子体激发的,例如在RPS单元中,以包括含 N^* 和/或 H^* 和/或 O^* 的自由基或等离子体,例如 NH_3 、 NH_2^* 、 NH^* 、 N^* 、 H^* 、 O^* 、 N^*O^* 、或上述的组合。处理前体可以替代地包括本文中描述的一种或更多种前体。在一些配置中,被输送到处理室的一种或更多种前体包括气体混合物,该气体混合物包括介于约0.1和约100之间的电介质材料前体与处理前体比。被提供到处理室的气体混合物也可以包括一种或更多种惰性气体。惰性气体可以包括、但不限于稀有气体,例如Ar、He、Xe、及类似物。惰性气体可被以介于约1sccm和约50000sccm之间的流量比供应到处理室。在处理过程中,可以将腔室的处理区域中的工艺压力保持在约0.1托至约10托之间,例如约0.1托和约1托之间,诸如约0.5托和约0.7托之间。

[0028] 在一个实施方案中,在沉积工艺期间将基板温度保持在预定范围内。在一个实施方案中,将基板温度保持在低于约摄氏200度,例如低于摄氏100度,以便允许在基板上形成的电介质材料是可流动的从而形成在形成于基板上的特征内。在一个实施方案中,将处理室中的基板温度保持在介于约室温至约摄氏200度之间的范围内,诸如约低于摄氏100度,例如约摄氏30度和约摄氏80度。

[0029] 在一些实施方案中,在沉积过程中施加RF功率来维持等离子体。提供的RF功率介于约100kHz和约100MHz之间,例如约350kHz或约13.56MHz。或者,可以利用VHF功率来提供高达约27MHz和约200MHz之间的频率。在一个实施方案中,可以供应介于约1000瓦和约10000瓦之间的RF功率。

[0030] 在框104执行的工艺的一个示例中,可以向处理室提供含硅前体,并在将基板保持在处理室中的同时形成RF等离子体。前体气体可以是含碳前体。

[0031] 在框106,将最小厚度的薄膜层沉积在基板上。最小厚度足以允许薄膜流动,并且足够薄使得层只填充特征的第一部分。然后停止前体流,并从处理室的基板处理区域中移除残余气体。用于本申请案的合适薄膜可以包括硅氧化物(SiO_x)、硅氮化物(SiN_x)、硅碳化物(SiC_x)、硅碳氮化物($\text{Si}_x\text{C}_y\text{N}_z$)、或多晶硅(Si)等等。因为可流动膜是黏性的,所以可流动膜必须具有一定的厚度,以确保完全覆盖基板的表面。所沉积的每一层薄膜都必须具有最小的厚度,以确保薄膜的流动性。在一个实施方案中,层的厚度介于50埃和150埃之间。本领域技术人员将理解的是,层的厚度将取决于若干因素,包括特征的尺寸及所沉积的膜的本质。

[0032] 在框108,任选地将等离子体引入基板处理区域。在一些情况下,等离子体可以是含氧等离子体。氧化物薄膜对紫外线是透明的,使得在氧化物薄膜被沉积到下薄膜层的顶部之后,紫外线仍可穿透所沉积的薄膜层并到达下薄膜层。

[0033] 在框110,将基板从基板处理区域转移到固化腔室。在转移步骤期间保持惰性环境并且不使基板暴露于不良的污染物。据信,保持真空条件对于在每个循环的这个阶段防止薄膜层的不希望的氧化是有用的。氧化可能会对生成的电介质薄膜的黏附性质或电性质产生负面影响。

[0034] 在框112,在固化腔室中使基板暴露于来自光源的低温紫外光。紫外光可由200-450瓦灯泡递送,并且可以具有介于100nm和250nm之间的波长。曝光可以具有一分钟的持续时间。然而,本领域技术人员将理解的是,UV光的功率和波长及曝光的持续时间将取决于所沉积的膜的本质和厚度。

[0035] 返回框102,可以使基板返回沉积型处理室的基板处理区域。在转移步骤期间将惰性环境保持在一个水平,使得基板不会暴露于污染物。再次地,保持真空条件对于在每个循环的这个阶段防止薄膜层的不希望的氧化是有用的。这重新开始沉积附加层、使用等离子体预处理、以及使用紫外线固化的整个循环,之后循环再次开始。重复该循环直到已沉积和固化了所需的层数。在一个实施方案中,重复该循环20次,使得20个层被沉积在基板上。本领域技术人员将理解的是,循环的次数将视特征的深度、薄膜层的厚度、以及其他因素而改变。

[0036] 在已将该循环重复期望的次数之后,在框114,处理层叠的沉积膜以进行热致密化。在氧化物薄膜的情况下,热致密化通过使用炉退火工艺来执行。

[0037] 图2图示依据一个实施方案用于沉积和固化薄膜层的基板处理系统200。如图2所示,成对前开式统一标准晶片传送盒202供应基板,基板被机械臂204接收并放入低压保持区206中,然后再被放入基板处理室208a-208f中的一个中。可以使用第二机械臂210从保持区206传送基板往来于基板处理室208a-208f。

[0038] 基板处理室208a-208f可以包括用于沉积、退火、固化、和/或蚀刻形成于基板上的特征中的可流动膜(例如 SiO 、 SiN 、 SiC 、 SiCN 、多晶硅)或其他薄膜的一个或更多个系统组件。在一种配置中,可以使用两对处理室(例如208c-208d和208e-208f)在特征中沉积可流动膜和预浸泡该膜,而且可以使用第三对处理室(例如208a-208b)来处理所沉积的薄膜,例如执行UV处理。使用此基板处理系统允许在恒定的真空环境内执行整个方法。使用整合的真空系统来进行沉积和固化工艺避免了在循环工艺正在进行时薄膜层的不希望的氧化。

[0039] 图3A-3E为正被依照依据本文所述实施方案的循环连续沉积和固化方法的一个实

施方案填充的特征的一系列剖面示意图。图3A图示在循环连续沉积和固化工艺开始之前特征310的剖面示意图。基板300可以是硅基板、含硅-锗基板、含III-V族化合物基板、或另一种适当的基板。基板300具有至少一个特征310,例如沟槽、通孔、缝隙、或其他隔离特征。在沉积处理程序期间,基板300被安置在基板支撑件320上。

[0040] 在图3B中,第一材料层330被安置在基板300上。第一材料层330可以是含硅层,例如 SiO_x 、 SiN_x 、 SiC_x 、 Si_xCyN_z 、多晶硅、或其他薄膜。该材料层可以通过使前体、蒸汽和/或气体流入基板处理区域中来安置,其中基板支撑件320和基板300已被安置在该基板处理区域中。该前体、蒸汽或气体可以是无碳的硅前体,例如硅和氮的前体、或硅和氢的前体、或含硅、氮及氢的前体、或另一种前体,包括含碳前体,如以上所讨论。

[0041] 在第一材料层的沉积过程中基板的温度可以低于 100°C 。本领域普通技术人员将理解的是,在薄膜的沉积过程中基板的温度可以视所用的硅前体和等离子体蒸汽或气体而改变。

[0042] 第一材料层330具有厚度 L_1 。该特征本身具有深度 F 。厚度 L_1 至少是足以允许薄膜流动的最小厚度,而且厚度 L_1 足够薄使得该层只填充基板上的一个或更多个特征310的第一部分。换句话说,厚度 L_1 小于深度 F 。提供小于特征深度 F 的材料层厚度 L_1 将允许该层在紫外线固化步骤期间有更佳的光穿透,因此导致更均匀的薄膜性质。例如,材料层可以具有介于 $50\text{ \AA}$ 和 $150\text{ \AA}$ 之间(例如 $100\text{ \AA}$)的厚度。据信,较薄的层将提供较高质量的薄膜,因为较薄的层倾向于促进电介质膜的光学和电性质的均匀性,如本文所讨论。然而,较厚的层将提高产量,但风险是会有上面讨论的整体填充沉积工艺的问题。在已将具有最小厚度的第一材料层330沉积在基板上并进入一个或更多个特征310中之后,停止前体和气体的流,并将剩余的前体和气体泵出基板处理区域。

[0043] 然后使用含氧等离子体预处理第一材料层330,以制备用于固化的第一材料层330。含氧等离子体可以包括以下中的一者或更多者:原子氧(O)、分子氧(O_2)、臭氧(O_3)、氢氧化物(例如 H_2O 、 H_2O_2)、及氮氧化物(例如 NO 、 NO_2 、 N_2O)、或其他含氧等离子体物种。含氧等离子体还可以包括含氧物种或自由基氧和羟基物种的离子,例如氧原子(O)、氢氧化物(OH)、及其他物种。

[0044] 在图3C中,使基板300和第一材料层330暴露于低温紫外光340。暴露于紫外光可以在与基板处理区域分开的固化腔室中发生。在暴露于紫外光的过程中,可以将基板安置在基座或基板支撑件上,基座或基板支撑件被保持在 100°C 或更低的温度。暴露于紫外光340导致在第一材料层330中产生交联。在暴露于紫外光340之后,假使基板先前被从基板处理区域移到固化区域,则将基板送回到基板处理区域。

[0045] 在图3D中,将具有厚度 L_2 的第二材料层350沉积在先前沉积和固化的第一材料层330的顶部上。在一些实施方案中,第二材料层350可以使用与用以沉积第一材料层330的前体和气体相同的前体和气体来沉积。第二材料层350的厚度 L_2 可以等于或小于或大于第一材料层330的厚度 L_1 。为了下面讨论的原因,第二材料层厚度 L_2 大于第一材料层厚度 L_1 可以是优选的。沉积第二材料层350之后,依据上述工艺使用含氧等离子体预处理第二材料层350,以制备用于固化的第二材料层350。

[0046] 在图3E中,依据上述工艺使基板300和第二材料层350和第一材料层330再次暴露于低温紫外光340。暴露于紫外光可以再次在与基板处理区域分开的固化腔室中发生。暴露

于紫外光340导致在第二材料层350中产生交联。暴露于紫外光还可能会导致位于第二材料层350下方的第一材料层330中的进一步交联。因为较早沉积的层中可能会发生持续的交联,所以可能会产生梯度,在该梯度中材料的性质(例如交联)横跨所沉积薄膜的深度而改变。为了调整暴露于紫外光时下层的这种持续交联,每个相继沉积的材料层都可以具有大于沉积在它下面的材料层的厚度。然而,每个沉积的材料层都应具有允许可流动膜适度流动以改良沉积的多层薄膜叠层材料性质的均匀性所需的最小厚度。此外,每个相继沉积的材料层都可以屏蔽沉积在它下面的层以免多次暴露于紫外线固化工艺。为了改善这种屏蔽作用,每个相继沉积的材料层具有的厚度都可以大于沉积在它下面的层的厚度,以防止较早沉积的层过度固化。

[0047] 在暴露于紫外光340之后,假使基板先前被从基板处理区域移到固化区域,则将基板送回到基板处理区域,在基板处理区域附加材料层可以被沉积、预处理、然后返回到固化腔室进行固化。虽然图3A-3E只图示出两个沉积材料层330和350,但该工艺可以被重复多次、沉积许多材料层至少直到特征被完全填满。该工艺的结果是具有改良的物理、电及材料性质均匀性的多层沉积薄膜,因此是更高质量的薄膜。

[0048] 图4为依照依据本文所述实施方案的循环连续沉积和固化方法的一个实施方案填充的特征的剖面示意图。图4是可以从重复图1图示的步骤而产生的薄膜的示意图,以视需要至少完全填充形成于基板上的特征。基板300及其中的一个或更多个特征310已被暴露于循环连续沉积和固化方法100的步骤并通过足够的循环使得至少特征310已被完全填充。因此,虽然图4只图示出四个材料层330、350、360、370,但本领域普通技术人员将理解的是,还可以沉积多得多的层。另外,虽然材料层330、350、360、370可能显现出具有相似的厚度,但材料层330、350、360、370可以替代地具有不同的厚度,只要每个材料层都至少具有允许可流动膜流动所必需的最小厚度即可。如以上讨论的,每个材料层的厚度也可以改变,使得每个相继的材料层都可用来屏蔽它下面的一个层或多个层以免过度的紫外线固化。为此目的,每个相继的材料层都可以比它下面的层更厚,使得材料层370比材料层360更厚;材料层360比材料层350更厚;材料层350比材料层330更厚;等等。

[0049] 图5A和图5B为通过传统的整体填充沉积和固化工艺的一种实施方案沉积的薄膜(图5A)及通过循环连续沉积和固化工艺的一种实施方案沉积的薄膜(图5B)的视觉表示。图5A图示存在于通过整体填充沉积和固化工艺产生的薄膜的特征内的梯度。因为图5A图示的薄膜是以单一步骤沉积的,所以在固化工艺期间提供的紫外线不会深入穿透到薄膜中,而且交联和致密化在表面附近发生地更彻底。图5A的箭头表示此梯度,显示交联和致密化的程度在薄膜的深度较靠近表面处增加。相对地,图5B图示通过循环连续沉积和固化工艺所提供形成的沉积层叠层材料性质的增强的均匀性。因为薄膜被沉积成多个薄层并循环地固化,所以交联更加一致而不管深度如何。虽然图5B图示通过十个循环的沉积和固化所提供的增强的均匀性,但可以有多得多或少得多的沉积和固化循环,取决于薄膜的特殊需求。

[0050] 贯穿薄膜深度的薄膜均匀性是薄膜质量的关键指标。理想地,贯穿薄膜的密度将是既高又均匀的。在一个实验中,将通过传统整体填充沉积方法的一个实施方案沉积的薄膜的密度与通过循环连续沉积的薄膜的一个实施方案沉积的薄膜的密度相比较。测得固化之前沉积的薄膜的密度为 1.3g/cc 。测得单一工艺整体填充沉积薄膜的密度为 1.6g/cc – 1.7g/cc ,而且只在薄膜的表面18nm内测得增加的密度。循环连续沉积薄膜的密度增加到

1.9g/cc-2.1g/cc,而且穿过薄膜深度的改良密度是均匀的。这些结果展现出通过循环连续沉积和固化方法所实现的改良的和均匀的密度。

[0051] 图6为比较横跨传统整体填充沉积和固化的薄膜的折射率为深度的函数与通过本文所述循环连续沉积和固化方法的一种实施方案沉积的薄膜的折射率为深度的函数的曲线图。折射率是所沉积薄膜的密度的指标,使得较高的折射率表示较致密的薄膜。致密化对于薄膜的质量是重要的,尤其是对于将被炉退火的薄膜,例如氧化物薄膜。当薄膜被炉退火时,薄膜的密度增加,从而导致薄膜层收缩。在炉退火工艺之前具有较高致密化的薄膜将经历有限的收缩及因此有限的应力。因此,薄膜在炉退火步骤之前的致密化是重要的,以改良最终薄膜的性质。

[0052] 在图6中,针对使用整体填充沉积方法沉积的薄膜测试横跨薄膜深度的折射率(n),并与针对依照本文所述循环连续沉积和固化方法的一个实施方案沉积的薄膜横跨薄膜深度的折射率相比较。贯穿薄膜的深度,通过循环连续沉积和固化工艺沉积的薄膜显示出比通过单一沉积和固化工艺沉积的薄膜更大的折射率、更小的穿过所形成的叠层的折射率变化、及因此更高的密度均匀性。在这种情况下,以250nm的光波长测量单一工艺整体填充沉积和固化工艺与循环连续沉积和固化工艺的折射率。对于单一循环沉积和固化方法(即在图6中标示为“1x”),在薄膜底部的折射率(约1.9)远低于在薄膜表面的折射率(约2.2)。对于20个循环的循环连续沉积和固化方法(即在图6中标示为“循环的”),横跨薄膜深度的折射率变化小得多,表示更高的密度均匀性及因此更高的薄膜质量。此外,折射率在薄膜底部(高于2.3)甚至比在表面(约2.1)更高。据信,观察到测得的折射率的这个相反效果或不同形状是因为较深的层被固化较多次,从而导致在较深深度的密度比在表面的密度增加。

[0053] 图7为比较横跨传统整体填充沉积和固化的薄膜的消光系数为深度的函数与通过本文所述循环连续沉积和固化方法的一种实施方案沉积的薄膜的消光系数为深度的函数的曲线图。消光系数(k)是薄膜中的交联度的指标,使得较高的 k 值表示较大的交联。在这种情况下,以250nm的光波长测量单一工艺整体填充沉积和固化工艺与循环连续沉积和固化工艺的消光系数。对于单一循环沉积和固化方法(即在图7中标示为“1x”),薄膜各处的消光系数较低,范围从约0.2至小于0.3。对于循环连续沉积和固化方法(即在图7中标示为“循环的”),薄膜各处的消光系数较高,范围从约0.4至小于0.5。此外,通过循环方法沉积的薄膜展现出消光系数在薄膜底部比在表面更高,这与通过单一沉积步骤工艺沉积的薄膜相反。据信,观察到测得的消光系数的这个相反效果或不同形状是因为较深的层被固化较多次,从而导致在循环沉积薄膜的较深深度的交联比在表面的交联度增加。

[0054] 图8为比较通过传统整体填充沉积和固化方法的一种实施方案沉积的薄膜的膜稳定性与通过循环连续沉积和固化方法的一种实施方案沉积的薄膜的膜稳定性的曲线图。随时间变化的膜稳定性是薄膜质量的重要指标。质量较高的薄膜较不可能在暴露于空气之后劣化。在一个实验中,图示于图8,使用傅立叶变换红外线(FTIR)光谱来测量在不同波长的光的吸收。该测量针对通过传统整体填充沉积方法沉积的薄膜和通过循环连续沉积方法沉积的薄膜来进行,两者皆在薄膜沉积之后7天进行。整体填充沉积的薄膜在与硅氧化物(SiO_x)关联的波长具有额外峰,表示整体填充的薄膜暴露于空气时已劣化。相较而言,循环沉积的薄膜没有显示与硅氧化物(SiO_x)波长关联的峰,表示循环沉积产生的薄膜是较稳定

的,而且在暴露于空气之后较不可能劣化。这种稳定性允许沉积的不含氧可流动膜(例如SiN、SiC、SiCN、以及多晶硅)形成不因时间推移和空气暴露而劣化或“老化”的薄膜。

[0055] 图9为通过传统整体填充沉积和固化方法的一种实施方案沉积的薄膜与通过循环连续沉积和固化方法的一种实施方案沉积的薄膜相比距离表面不同深度处的湿法蚀刻速率比(WERR)的图形描绘。较低的WERR表示提高的耐稀释氢氟酸(DHF)性,这表示更高质量的薄膜。这个实验比较在500℃下热致密化之后薄膜对100:1的DHF的WERR。在图9中,上方的三条曲线显示整体填充沉积的薄膜的三种实施方案在各种薄膜深度的WERR。底部的曲线显示循环沉积的薄膜的WERR。在一个深度,循环沉积的薄膜显示1.8的WERR,这明显优于任一整体沉积薄膜的WERR(约3.2、约4.8、及约6.0)。在750℃下热致密化之后测量湿法蚀刻速率比的另一个实验中,循环沉积的薄膜的WERR比整体填充沉积的薄膜甚至更低。

[0056] 虽然其中可以实施本文描述的实施方案的特别设备没有限制,但在由美国加利福尼亚州圣克拉拉市的应用材料公司(Applied Materials, Inc., Santa Clara, Calif.)出售的**Producer**[®]Eterna[™] FVCD[™]系统、**Producer**[®]Onyx[™]系统、及**Producer**[®]Nanocure[™]系统中实施所述实施方案是特别有益的。此外,可从其他制造商获得的FCVD系统也可得益于本文描述的实施方案。

[0057] 还可以在原子层沉积光刻中使用此工艺来实现沟槽中的均匀性。虽然本文中某些实施方案是针对CVD和ALD讨论的,但还应该理解的是,本文描述的方法也可适用于其中薄膜厚度和均匀性是关键考虑的所有应用。

[0058] 虽然前述内容针对本装置和方法的实施方案,但仍可以在不偏离该装置和方法的基本范围的情况下设计出该装置和方法的其他和进一步的实施方案,而且该装置和方法的范围由随后的权利要求决定。

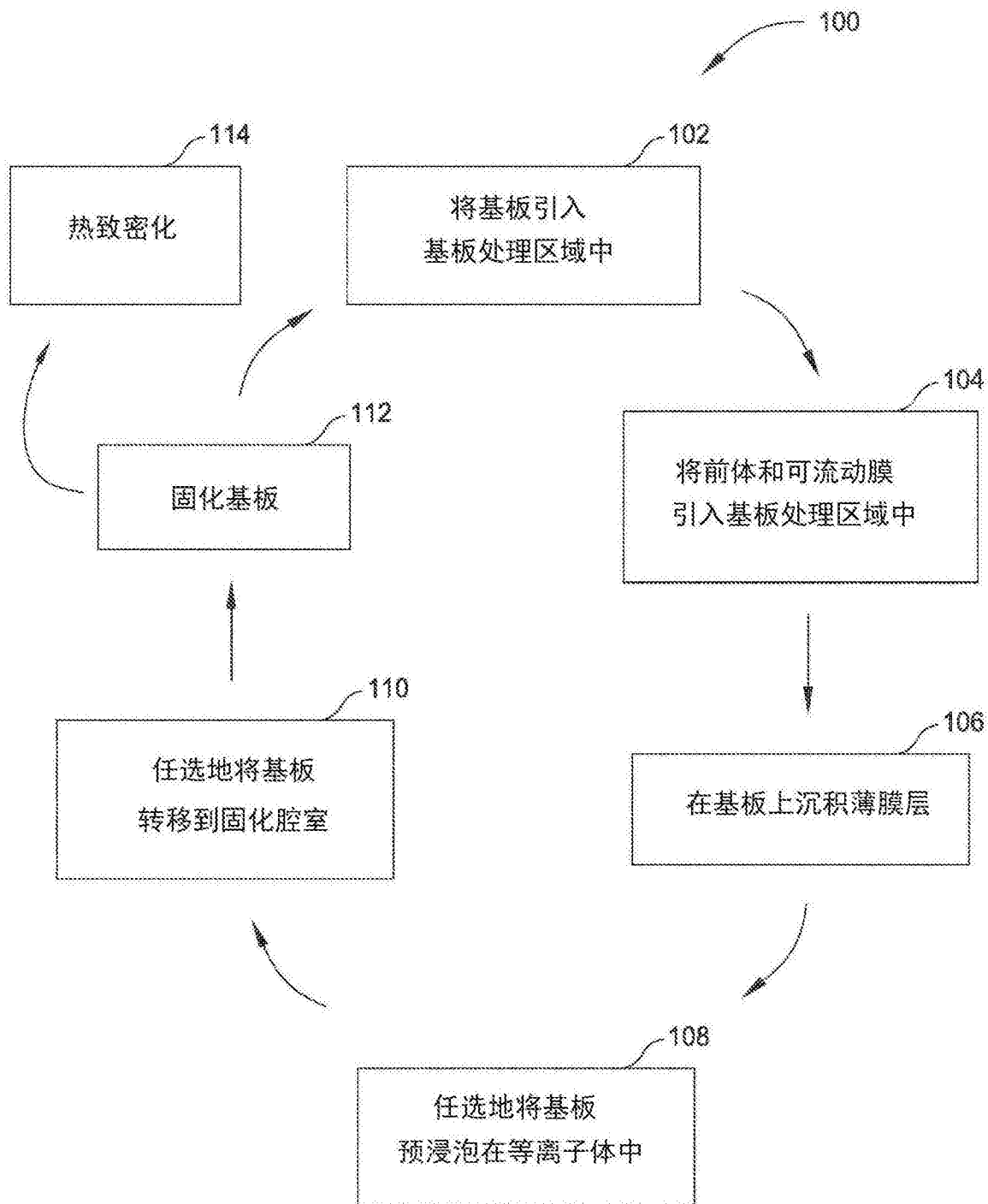


图1

源

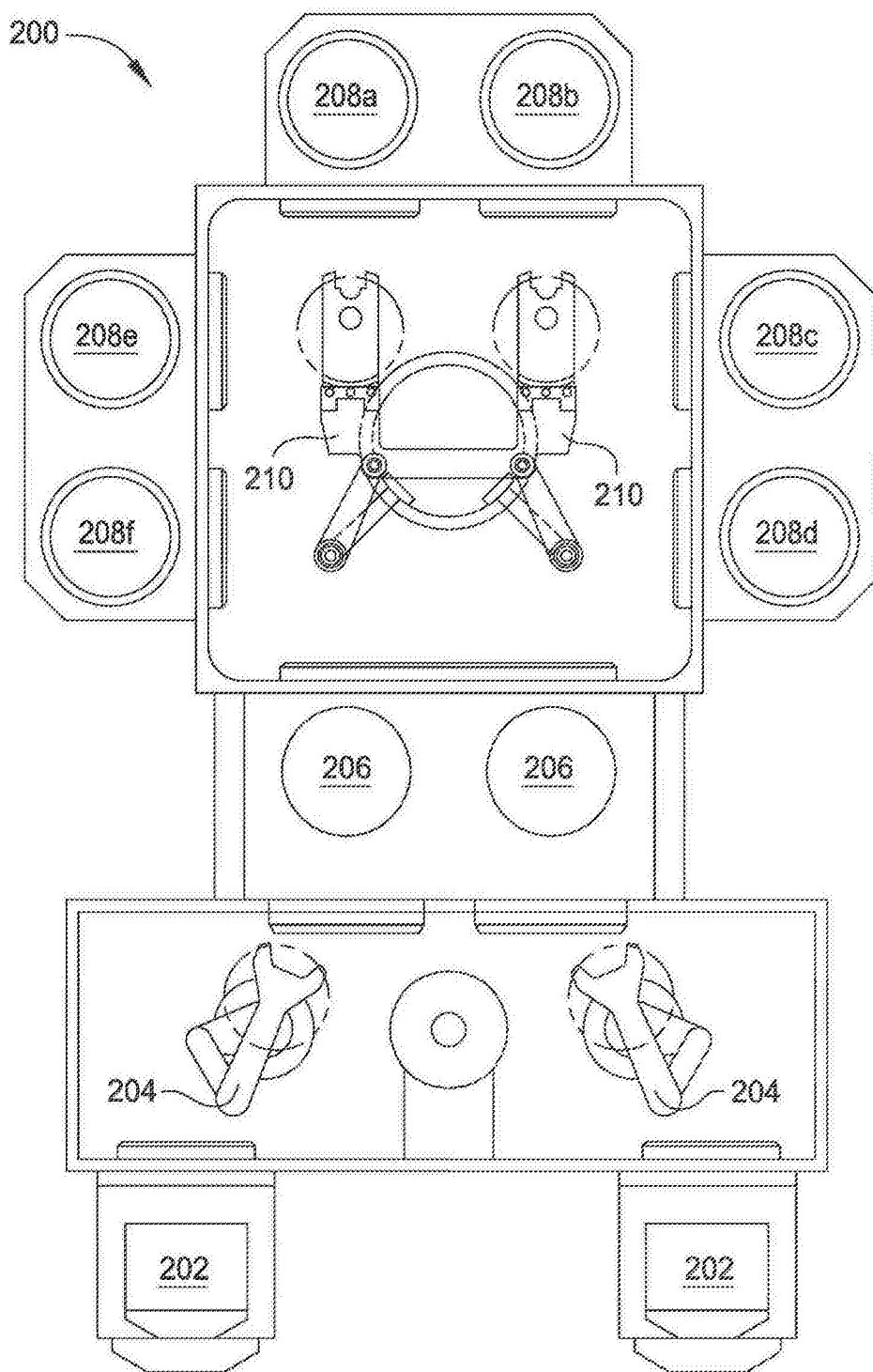


图2

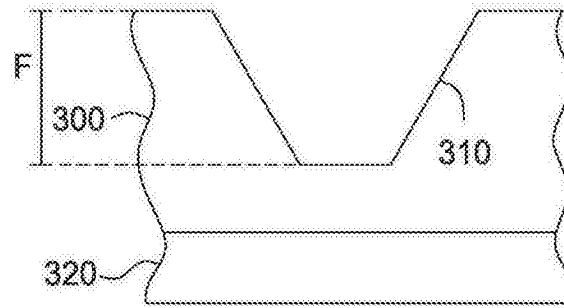


图3A

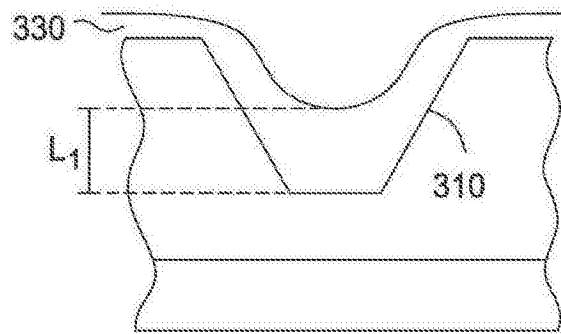


图3B

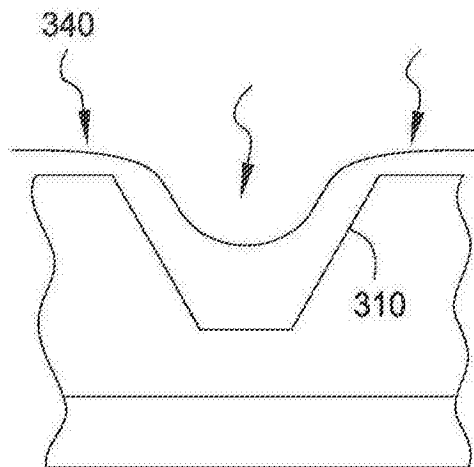


图3C

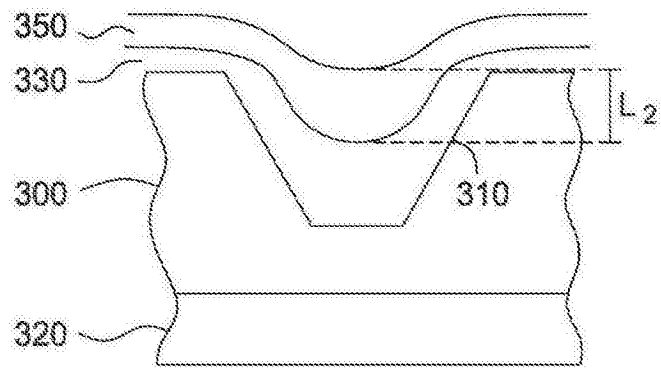


图3D

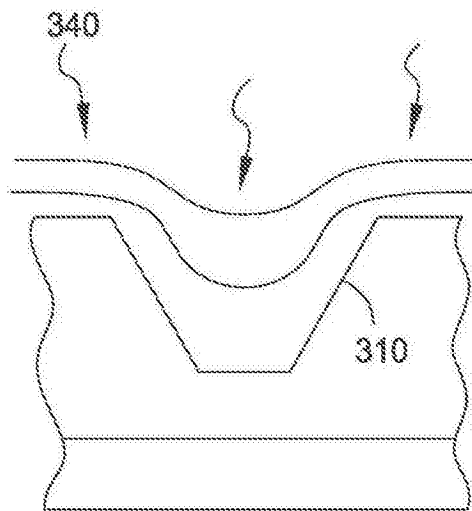


图3E

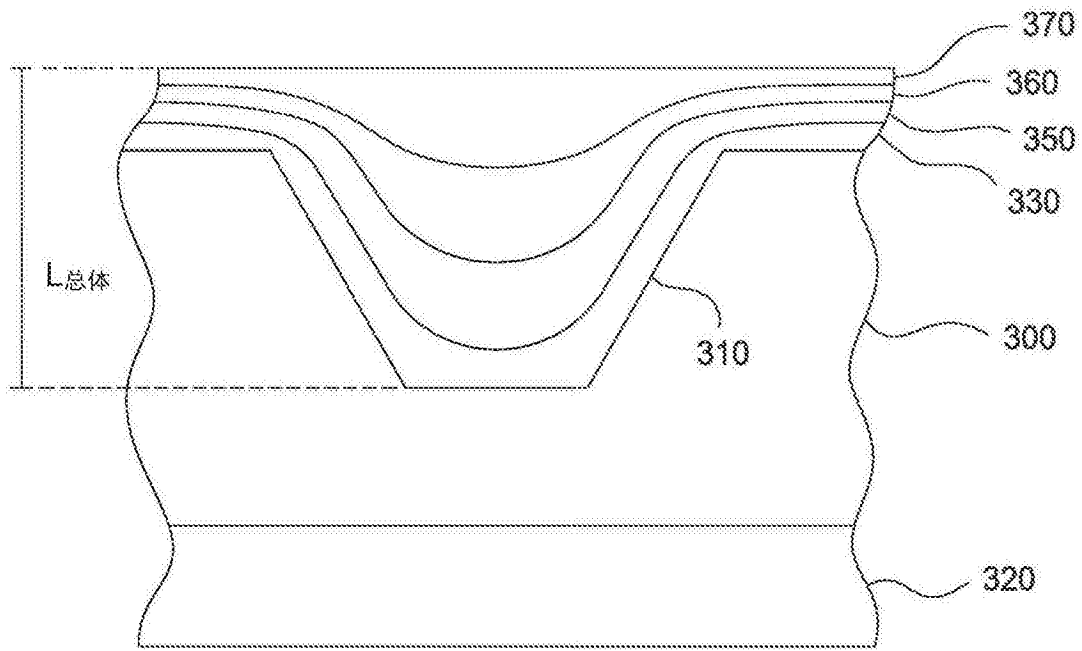


图4

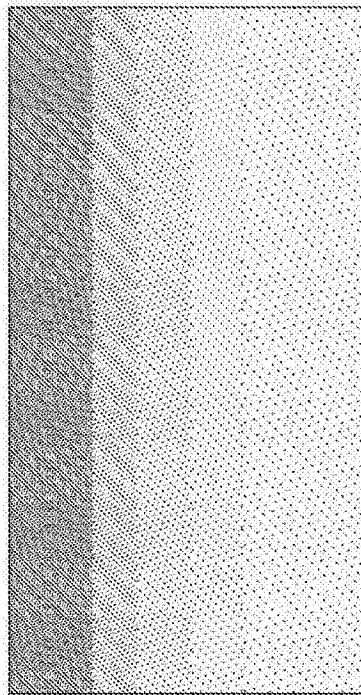


图5A

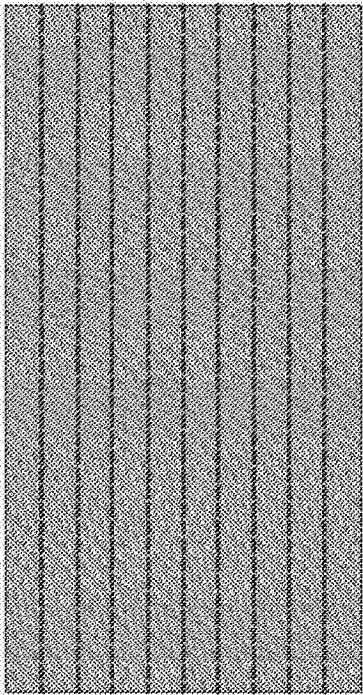


图5B

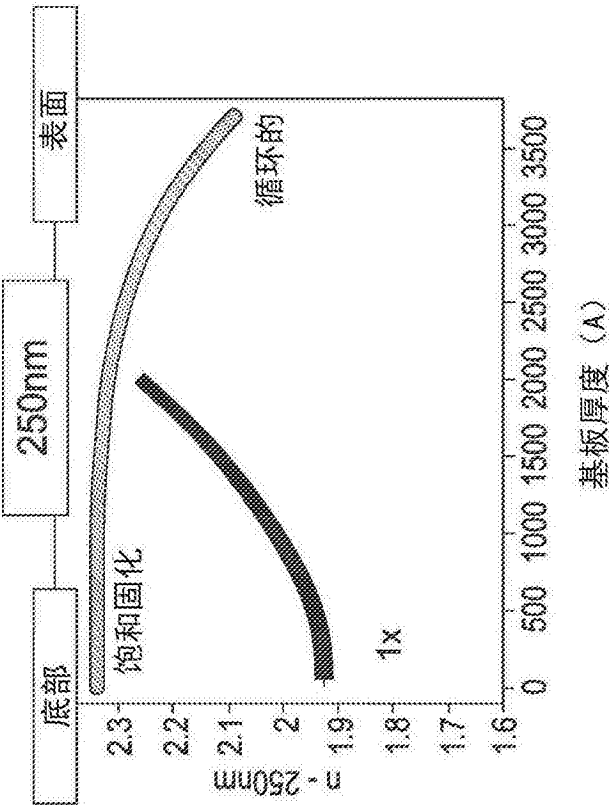


图6

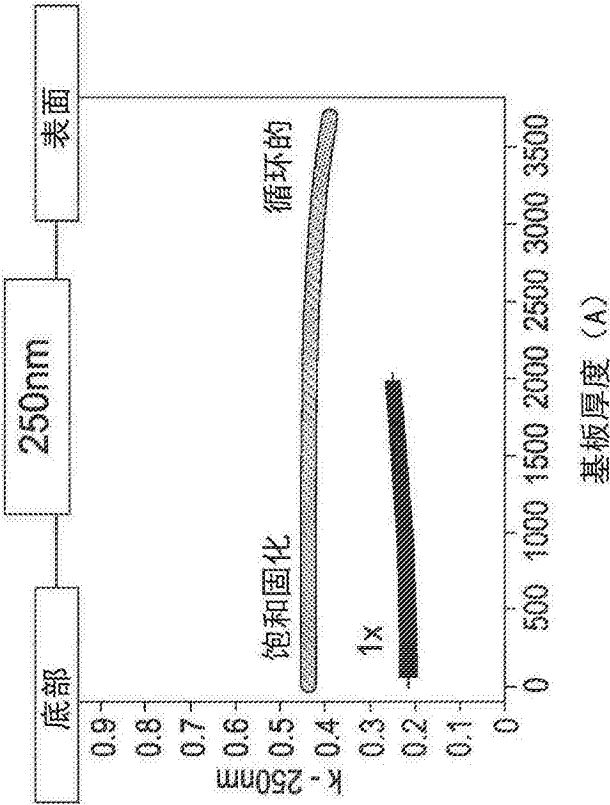


图7

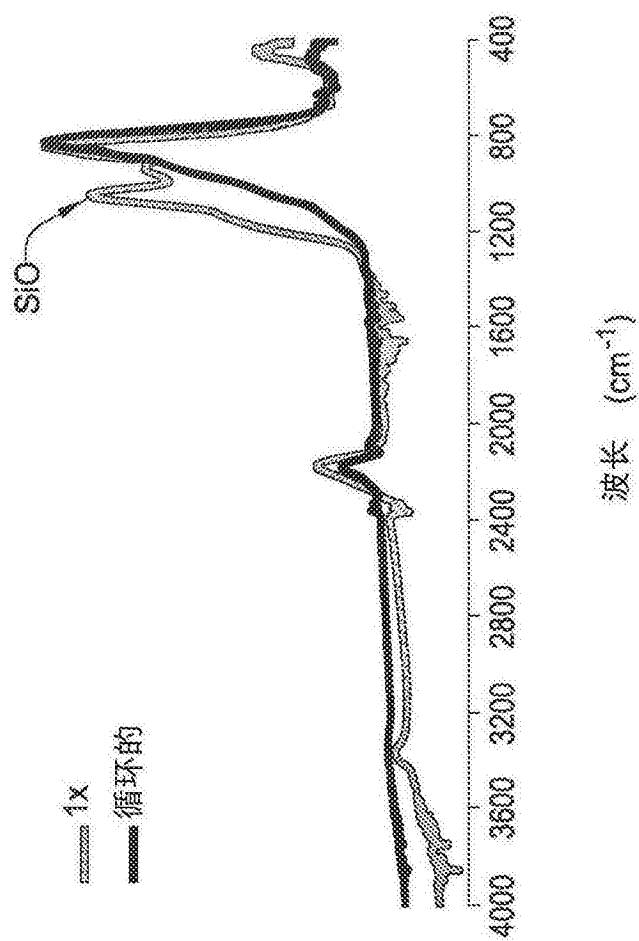


图8

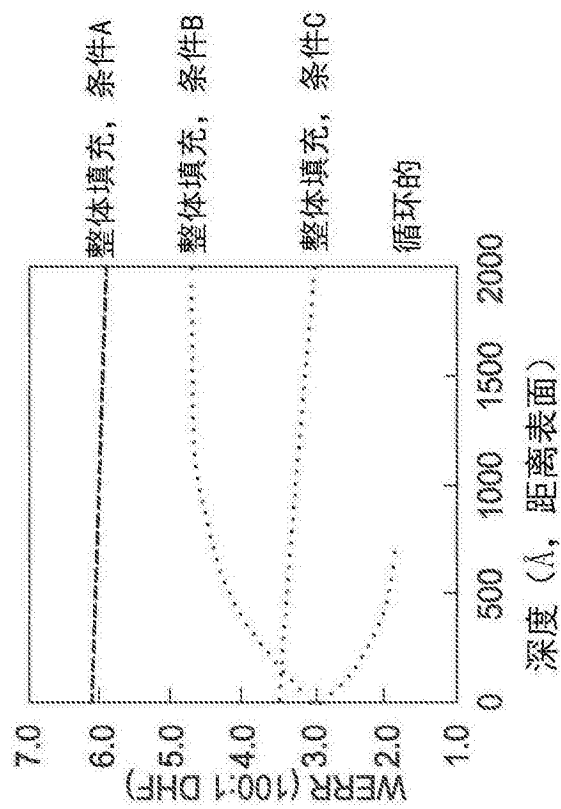


图9