

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101816059 B

(45) 授权公告日 2013. 03. 27

(21) 申请号 200880107034. 3

(56) 对比文件

(22) 申请日 2008. 09. 12

CN 1527366 A, 2004. 09. 08,

(30) 优先权数据

审查员 刘佳秋

11/854, 937 2007. 09. 13 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 03. 15

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/076134 2008. 09. 12

(87) PCT申请的公布数据

W02009/036249 EN 2009. 03. 19

(73) 专利权人 东京毅力科创株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 刘俊军 多雷尔·I·托玛

埃里克·M·李

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 蔡胜有

(51) Int. Cl.

H01L 21/00 (2006. 01)

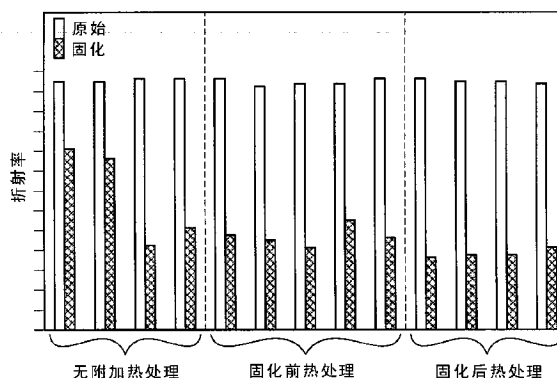
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 6 页

(54) 发明名称

使介电膜固化的方法

(57) 摘要

描述了一种用于使衬底上的低介电常数 (low-k) 介电膜固化的方法, 其中, low-k 介电膜的介电常数比约 4 的值更低。所述方法包括将 low-k 介电膜暴露于紫外线 (UV) 辐射。在 UV 暴露之后, 将介电膜暴露于 IR 辐射。



1. 一种方法,其用于使衬底上的低介电常数 (low-k) 介电膜固化,所述方法包括以下步骤:

将具有低介电常数介电膜的衬底布置在固化系统中;

在所述固化系统中使所述低介电常数介电膜暴露于紫外线 (UV) 辐射以引起键离解和交联引发体的生成,并在所述低介电常数介电膜内部分地引起交联,其中,在所述紫外线暴露过程中,通过将与所述衬底接触的衬底保持器的温度提高至在从 200 摄氏度至 600 摄氏度范围内的固化温度,来加热所述低介电常数介电膜;并且

在所述紫外线暴露之后,使所述低介电常数介电膜暴露于红外线 (IR) 辐射,所述红外线辐射是具有窄波带的基本单波长电磁 (EM) 辐射,其中

所述低介电常数介电膜的介电常数比为 4 的值更低。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括以下步骤:在所述红外线暴露过程中,通过将与所述衬底接触的所述衬底保持器的温度提高至在从 200 摄氏度至 600 摄氏度范围内的热处理温度,来加热所述低介电常数介电膜。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其中,所述热处理温度在从 350 摄氏度至 450 摄氏度的范围内。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述固化温度在从 300 摄氏度至 500 摄氏度的范围内。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,在与所述固化系统不同的处理系统中来执行所述红外线暴露。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,将所述介电膜暴露于紫外线辐射的所述步骤包括将所述介电膜暴露于来自一个或多个紫外线灯、一个或多个紫外线 LED、一个或多个紫外线激光器、或者上述紫外线源中的两种或更多种的组合的紫外线辐射。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,将所述介电膜暴露于紫外线辐射的所述步骤包括将所述介电膜暴露于具有在从 100 纳米至 600 纳米范围内的波长的紫外线辐射。

8. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,将所述介电膜暴露于紫外线辐射的所述步骤包括将所述介电膜暴露于具有在从 200 纳米至 400 纳米的范围内的波长的紫外线辐射。

9. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,将所述介电膜暴露于红外线辐射的所述步骤包括将所述介电膜暴露于来自一个或多个红外线灯、一个或多个红外线 LED、一个或多个红外线激光器、或者上述红外线源中的两种或更多种的组合的红外线辐射。

10. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,将所述介电膜暴露于红外线辐射的所述步骤包括将所述介电膜暴露于具有在从 1 微米至 25 微米的范围内的波长的红外线辐射。

11. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,将所述介电膜暴露于红外线辐射的所述步骤包括将所述介电膜暴露于具有在从 8 微米至 14 微米的范围内的波长的红外线辐射。

12. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,将所述介电膜暴露于紫外线辐射的所述步骤还包括以下步骤:

在所述紫外线暴露的至少一部分过程中,或者在所述紫外线暴露之前,将所述介电膜暴露于红外线辐射。

13. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,将所述介电膜暴露于红外线辐射的所述步骤包括将所述介电膜暴露于在从 8 微米至 14 微米的范围内的红外线辐射。

14. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括以下步骤:

在所述紫外线暴露之前,将所述衬底布置在干燥系统中;

根据干燥处理来使所述介电膜干燥,由此去除或部分地去除所述介电膜上或所述介电膜中的污染物;并且

将所述衬底从所述干燥系统传送至所述固化系统,同时在所述传送过程中保持真空状况。

15. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括以下步骤:

通过执行下述处理中的一种或多种处理来在所述红外线暴露之后对所述介电膜进行处理:将另一膜布置在所述介电膜上、清洁所述介电膜、或者将所述介电膜暴露于等离子体。

16. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述低介电常数介电膜的介电常数等于为 2.5 的值或比为 2.5 的值更低。

17. 根据权利要求 16 所述的方法,其中,所述低介电常数介电膜包括无机介电膜、有机介电膜、混合有机无机介电膜、多孔介电膜、或非多孔介电膜,或者上述两种或更多种介电膜的组合。

18. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述低介电常数介电膜包括硅氧烷基有机硅酸盐低介电常数材料,并且其中,所述紫外线辐射具有在从 200nm 至 300nm 的范围内的波长,而所述红外线辐射具有在从 9 微米至 10 微米的范围内的波长。

使介电膜固化的方法

[0001] 关联申请的交叉引用

[0002] 本申请涉及于 2005 年 11 月 9 日递交的发明名称为“MULTI-STEPSYSTEM AND METHOD FOR CURING A DIELECTRIC FILM”的未决美国专利申请号 11/269,581 以及于 2006 年 9 月 8 日递交的发明名称为“THERMAL PROCESSING SYSTEM FOR CURING DIELECTRIC FILMS”的未决美国专利申请号 11/269,581。通过应用其整体将这些申请的全部内容包含在本说明书中。

技术领域

[0003] 本发明涉及用于处理介电膜的方法,并更具体而言涉及使低介电常数 (low-k) 介电膜固化以及对 low-k 介电膜进行热处理的方法。

背景技术

[0004] 如半导体领域的技术人员所公知的,互联延迟是对提高集成电路 (IC) 的速度及性能的主要限制因素。减小互联延迟的一种方法是通过使用低介电常数 (low-k) 材料作为 IC 器件中用于金属配线的绝缘电介质来减小互联电容。因此,近年来,已经研发出 low-k 材料来取代相对高介电常数绝缘材料 (例如二氧化硅)。具体而言,对半导体器件中金属配线之间的层间及层内介电层使用 low-k 膜。此外,为了进一步减小绝缘材料的介电常数,使材料膜形成孔,即成为多孔 low-k 介电膜。与涂布光阻材料类似,通过旋压 (spin-on) 电介质 (SOD) 法来布置这种 low-k 膜,或通过化学汽相淀积 (CVD) 来布置这种 low-k 膜。因此,使用 low-k 材料可方便地适用于现有的半导体制造处理。

[0005] low-k 材料比传统的二氧化硅强度低,并且在具有多孔性之后机械强度进一步劣化。多孔 low-k 膜在等离子处理过程中极易损坏,由此使得希望进行机械强化处理。公认提高多孔 low-k 电介质的材料强度对其成功集成至关重要。着眼于提高机械强度,采用替代固化技术来使多孔 low-k 膜更坚固并适于结合。

[0006] 使聚合物固化包括使例如利用旋压或汽相淀积 (例如化学汽相沉积 CVD) 技术沉积的薄膜经过处理以在膜内形成交联的处理程序。在固化处理过程中,认为自由基聚合是交联的主要途径。随着聚合物链进行交联,诸如杨氏模量、膜硬度、断裂韧度以及界面附着性的机械特性得到提高,由此提高了 low-k 膜的制造坚固性。

[0007] 因为存在各种策略来形成具有超低介电常数的多孔介电膜,故沉积后处理 (固化) 的目的因膜而异,例如包括去除水分、去除溶剂、熔尽用于在多孔介电膜中形成孔的致孔剂 (porogen)、以及提高上述膜的机械特性等。

[0008] 对于 CVD 膜,低介电常数 (low-k) 材料通常在 300°C 至 400°C 范围内的温度下热固化。例如,在制造具有大于约 2.5 的介电常数的坚固致密 low-k 膜时,炉内固化 (furnace curing) 就已足够。但是,当处理具有较高多孔性的多孔介电膜 (例如超低介电常数膜) 时,利用热处理 (或热固化) 可实现的交联程度不足以制造用于坚固互联结构的具有足够强度的膜。

[0009] 在热固化过程中,在不损坏介电膜的情况下将适量的能量传递至介电膜。但是,在相应的温度范围内,仅能产生少量的自由基。由于在将热量传递至衬底时损失的热能以及大气环境中的热量损失,实际上仅少量热能会在 low-k 膜中被吸收。因此,常规 low-k 炉内固化需要较高温度及较长的固化时间。但是,即使可提供较高的热预算,在热固化时缺乏引发体的生成以及在这样沉积的 low-k 膜中大量甲基末端 (methyl termination) 的存在会使得难以实现希望的交联程度。

发明内容

[0010] 本发明涉及一种处理介电膜的方法,并更具体而言涉及一种使低介电常数 (low-k) 介电膜固化的方法。

[0011] 根据实施例,描述了用于使衬底上的低介电常数 (low-k) 介电膜固化的方法及计算机可读介质,其中 low-k 介电膜的介电常数比约为 4 的值更低。该方法包括使 low-k 介电膜暴露于紫外线 (UV) 辐射。在 UV 暴露之后,使介电膜暴露于 IR 辐射。

附图说明

[0012] 在附图中:

[0013] 图 1 是根据实施例处理介电膜的方法的流程图;

[0014] 图 2 提供了用于处理介电膜的示例数据;

[0015] 图 3A 至图 3C 是根据实施例用于干燥系统及固化系统的传送系统的示意图;

[0016] 图 4 是根据另一实施例的干燥系统的示意性剖视图;并且

[0017] 图 5 是根据另一实施例的固化系统的示意性剖视图。

具体实施方式

[0018] 在以下描述中,为了便于充分理解本发明,并且为了说明而非限定,给出了具体的细节,例如处理系统的具体几何结构以及对各种部件及处理的描述。但是,应当理解,可根据与这些具体细节不同的其他实施例来实施本发明。

[0019] 发明人意识到存在替代固化方法来消除热固化本身的某些缺陷。例如,相较于热固化处理,替代固化方法在能量传递方面更加有效,并且在诸如加速电子、离子或中子 (neutral) 之类的高能粒子形式中或高能光子形式中存在的能级可以轻易地激励 low-k 膜中的电子,由此有效地使化学键断裂并使侧基团 (side group) 分离。这些替代固化方法可促进交联引发体 (自由基) 的生成,并可改善实际交联中所需的能量传递。因此,能够以较低的热预算来提高交联的程度。

[0020] 此外,发明人还意识到,当膜强度对于低介电常数 (low-k) 及超低介电常数 (ULK) 介电膜 (介电常数低于约 2.5) 的集成而言成为较大问题时,替代固化方法可改善这些膜的机械特性。例如,可以采用电子束 (EB)、紫外线 (UV) 辐射、红外线 (IR) 辐射以及微波 (MW) 辐射来固化 low-k 膜及 ULK 膜以提高机械强度,同时不牺牲介电特性及膜疏水性。

[0021] 但是,尽管 EB、UV、IR 及 MW 固化均具有其自身优点,但这些技术也存在限制。诸如 EB 及 UV 之类的高能固化源会提供较高能级以产生超过所需的用于交联的自由基,由此导致在补充衬底加热时过高的机械特性。另一方面,电子及 UV 光子会导致化学键的杂乱离解

(indiscriminatedissociation),由此会不利地降低所希望的膜的物理及电气特性,例如疏水性的丧失、残余膜应力的增大、孔结构的坍塌、膜致密化、以及介电常数的提高。此外,诸如 IR 及 MW 固化之类的低能固化源会在热传递效率方面提供极大的改进,但同时存在副作用,例如蒙皮层 (skin layer) 或表面致密化 (IR),以及产生电弧或晶体管损坏 (MW)。

[0022] 根据实施例,描述了一种使衬底上的低介电常数 (low-k) 介电膜固化的方法,其中该 low-k 介电膜的介电常数比约为 4 的值更小。该方法包括使 low-k 介电膜暴露于紫外线 (UV) 辐射。在 UV 暴露之后,使介电膜暴露于红外线 (IR) 辐射。

[0023] 在 UV 暴露过程中,可通过将衬底的温度提高至从约 200 摄氏度至约 600 摄氏度范围内的固化温度,来加热 low-k 介电膜。或者,固化温度可在从约 300 摄氏度至约 500 摄氏度的范围内。此外,在 UV 暴露过程中,low-k 介电膜可暴露于 IR 辐射。

[0024] 在 UV 暴露之后,可通过将衬底的温度提高至从约 200 摄氏度至约 600 摄氏度的范围内的热处理温度来加热 low-k 介电膜。或者,热处理温度可在从约 300 摄氏度至约 500 摄氏度的范围内,希望的是,热处理温度可在从约 350 摄氏度至约 450 摄氏度的范围内。

[0025] 现参考图 1,根据另一实施例说明了一种对衬底上的介电膜进行处理的方法。待处理衬底可以是半导体、金属导体或任何其他其上将形成介电膜的衬底。(在干燥及 / 或固化之前,或在干燥及 / 或固化之后,或者在上述两种情况下)介电膜可具有比 SiO_2 的介电常数 (约为 4,例如,热二氧化硅的介电常数可从 3.8 至 3.9 变动) 更低的介电常数值。在本发明的各种实施例中,(在干燥及 / 或固化之前,或在干燥及 / 或固化之后,或者在上述两种情况下)介电膜可具有低于 3.0 的介电常数、低于 2.5 的介电常数、或在从 1.6 至 2.7 范围内的介电常数。

[0026] 可将介电膜描述为低介电常数 (low-k) 膜或超低介电常数膜。介电膜例如包括双相多孔 low-k 膜,其会在致孔剂被熔尽之前比在致孔剂被熔尽之后具有更高的介电常数。此外,介电膜还会存在水分及 / 或其他污染物,这会导致在干燥及 / 或固化之前比在干燥及 / 或固化之后具有更高的介电常数。

[0027] 可利用诸如可从 Tokyo Electron Limited (TEL) 商购获得的 CleanTrack ACT 8 SOD 及 ACT 12 SOD 涂布系统提供的化学汽相淀积 (CVD) 技术或旋压电介质 (SOD) 技术来形成介电膜。Clean Track ACT 8 (200mm) 及 ACT 12 (300mm) 涂布系统提供了对于 SOD 材料的涂布、烘焙及固化工具。该系统 (track system) 可以被设置成处理尺寸为 100mm、200mm、300mm 及更大的处理衬底。对旋压电介质技术及 CVD 电介质技术领域技术人员公知的用于在衬底上形成介电膜的其他系统及方法也适用于本发明。

[0028] 介电膜例如可具有低介电常数 (或 low-k) 介电膜的特性。介电膜可包括有机、无机、及无机有机混合材料中的至少一者。此外,介电膜可以是多孔或非多孔的。例如,介电膜可包括利用 CVD 技术沉积的无机硅酸盐衬底料,例如氧化有机硅烷 (或有机硅氧烷)。这种膜的示例包括可从 Applied Materials, Inc. 商购获得的 Diamond™ CVD 有机硅酸盐玻璃 (OSG) 膜或者可从 Novellus Systems 商购获得的 Coral™ CVD 膜。此外,举例而言,多孔介电膜可包括单相材料,例如具有可在固化处理过程中阻止交联以生成小空洞 (或孔) 的末端有机侧基团 (terminal organicside group) 的氧化硅基基质 (matrix)。此外,例如,多孔介电膜可以包括双相材料,例如包含在固化处理过程中分解并蒸发的有机材料 (例如,致孔剂) 的氧化硅基基质。或者,介电膜可包括无机硅酸盐衬底料,例如采用 SOD 技术沉积的

氢硅倍半氧烷 (HSQ) 或甲基硅倍半氧烷 (MSQ)。这种膜的示例包括可从Dow Corning商购获得的FOx HSQ、可从Dow Corning商购获得的XLK多孔HSQ、以及可从JSRMicroelectronics商购获得的JSR LKD-5109。或者,介电膜可包括采用SOD技术沉积的有机材料。这种膜的示例包括可从Dow Chemical商购获得的SiLK-I、SiLK-J、SiLK-H、SiLK-D、多孔SiLK-T、多孔SiLK-Y以及多孔SiLK-Z半导体介电树脂,以及可从Honeywell商购获得的FLARE™以及Nanoglass。

[0029] 上述方法包括以510开始的流程500,在510,可选地在第一处理系统中使衬底上的介电膜干燥。第一处理系统可包括被配置为去除或部分地去除介电膜中的一种或多种污染物(例如包括水分、溶剂、致孔剂或任何其他会妨碍后续固化处理的污染物)的干燥系统。

[0030] 在520,将介电膜暴露于UV辐射。可在第二处理系统中执行对介电膜的UV辅助固化。第二处理系统可以包括被配置为通过在介电膜内引起或部分地引起交联以例如改善介电膜的机械特性来执行对介电膜的UV辅助固化的固化系统。在干燥处理之后,可在真空下将衬底从第一处理系统传送至第二处理系统以使污染最小化。

[0031] 使介电膜暴露于UV辐射可以包括使介电膜暴露于来自一个或多个UV灯、一个或多个UV LED(发光二极管)、或者一个或多个UV激光器、或者上述两种或更多种UV源的组合的UV辐射。UV辐射可在从约100纳米至约600纳米的波长范围内。期望的是,UV辐射可在从约200纳米至约400纳米的波长范围内,更期望的是,UV辐射可在从约200纳米至约300纳米的波长范围内。

[0032] 在使介电膜暴露于UV辐射的过程中,可通过将衬底的温度提高至在从约200摄氏度至约600摄氏度范围内的固化温度来加热介电膜。或者,固化温度可在从约300摄氏度至约500摄氏度的范围内。

[0033] 可选的是,在使介电膜暴露于UV辐射的过程中,可使介电膜暴露于IR辐射。使介电膜暴露于IR辐射可以包括使介电膜暴露于来自一个或多个IR灯、一个或多个IR LED(发光二极管)、或者一个或多个IR激光器、或者上述两种或更多种IR源的组合的IR辐射。IR辐射可在从约1微米至约25微米的波长范围内。理想的是,IR辐射可在从约8微米至约14微米的波长范围内。

[0034] 在530,在UV暴露之后,使介电膜暴露于IR辐射。使介电膜暴露于IR辐射可包括使介电膜暴露于来自一个或多个IR灯、一个或多个IR LED(发光二极管)、或者一个或多个IR激光器、或者上述两种或更多种IR源的组合的IR辐射。IR辐射可在从约1微米至约25微米的波长范围内。理想的是,IR辐射可在从约8微米至约14微米的波长范围内。

[0035] 此外,在IR暴露过程中,可通过将衬底的温度提高至在从约200摄氏度至约600摄氏度范围内的热处理温度来加热介电膜。或者,热处理温度可在从约300摄氏度至约500摄氏度的范围内。或者,热处理温度可在从约350摄氏度至约550摄氏度的范围内。

[0036] 如上所述,在IR暴露过程中,可通过吸收IR能量来加热介电膜。但是,加热还可以包括通过将衬底布置在衬底保持器上并利用加热装置加热衬底保持器来传导地加热衬底。例如,加热装置可包括电阻加热器件。

[0037] 发明人已经意识到传递给介电膜(q')的能级($h\nu$)以及能量传递速率在固化处理的不同阶段会发生变化。固化处理可包括用于使交联引发体生成、使致孔剂熔尽、使致孔

剂分解、膜交联以及可选地使交联引发体扩散的机制。每种机制均可要求能量传递至介电膜的不同能级及速率。

[0038] 例如,在使基质材料固化的过程中,可利用光子及光子引发的基质材料内的键离解来生成交联引发体。键离解可以要求具有小于或等于约 300 至 400nm 的波长的能级。此外,例如,通过感光剂进行的光子吸收可促进致孔剂熔尽。致孔剂熔可以要求 UV 波长,例如小于或等于约 300 至 400nm 的波长。

[0039] 此外,例如,可通过足以实现键形成及重组 (reorganization) 的热能来促进交联。键形成及重组会要求具有约 9 微米波长的能级,其例如对应于硅氧烷基有机硅酸盐 low-k 材料中的主吸收峰。

[0040] UV 暴露之后介电膜的 IR 暴露可在与 UV 暴露相同的处理系统 (即,第二处理系统) 中执行。或者,在 UV 暴露之后介电膜的 IR 暴露可在与 UV 暴露不同的处理系统中执行。例如,可在第三处理系统中执行对介电膜的 IR 暴露,其中可在真空下将衬底从第二处理系统传送至第三处理系统以使污染最小化。

[0041] 此外,在可选干燥处理、UV 暴露处理以及 IR 暴露处理之后,介电膜可以可选地在被配置为修饰 (modify) 固化介电膜的后处理系统 (post-treatment system) 中经过后处理。例如,后处理可包括在介电膜上旋压涂布或汽相淀积另一膜以促进后续膜的附着性或提高疏水性。或者,例如,可利用离子轻微地轰击介电膜来在后处理系统中实现对附着性的促进。此外,后处理可包括执行下述处理中的一者或更多:在介电膜上沉积另一膜,清洁介电膜,或者将介电膜暴露于等离子体。

[0042] 现参考图 2,提供了用于处理介电膜的示例数据。介电膜包括多孔介电膜,其包括利用化学汽相淀积 (CVD) 处理形成的双相材料。如图 2 所示,示出数种衬底的折射率,其中各个衬底均具有形成在其上的介电膜,通过将介电膜暴露于 266nm 的 UV 辐射来使该介电膜固化。对于原始介电膜 (即,在固化之前 (空白柱)) 提供折射率,并且对于相应的固化介电膜 (交叉阴影柱) 提供折射率。如图 2 所示,固化处理使得折射率降低,由此表明去除了第二相成分并形成了孔。

[0043] 还参考图 2,在固化处理之前或之后,对于不执行对介电层的附加加热的四 (4) 个衬底提供折射率 (用于原始膜及固化膜) (即,“无附加热处理”)。此外,对于在固化处理之前对介电层进行加热的五 (5) 个衬底提供折射率 (用于原始膜及固化膜) (即,“固化前热处理”)。此外,对于在固化处理之后对介电层进行加热的四 (4) 个衬底提供折射率 (用于原始膜及固化膜) (即,“固化后热处理”)。在后两种特定情况下,当介电膜经过固化前处理或固化后处理时,使介电膜暴露于约 9.4 微米的 IR 辐射。如图 2 所示,前加热或后加热介电膜均会使得折射率减小 (相对于无附加加热),由此可表明这是去除第二相成分的更有效处理。此外,相对于前加热,后加热介电膜可进一步减小折射率。

[0044] 虽然用于 IR 辐射的波长或波带以及温度是用于执行热处理过程的重要参数,但用于热处理过程的时间也非常重要。发明人已经观察到对后加热温度及时间的依赖可以是驱使第二相成分 (例如,致孔剂) 残余物向外扩散的扩散控制处理的指示。

[0045] 根据一个实施例,图 3A 示出了根据一个实施例用于处理衬底上的介电膜的处理系统 1。处理系统 1 包括干燥系统 10 以及连接至干燥系统 10 的固化系统 20。例如,干燥系统 10 可被配置为去除介电膜中的一种或多种污染物 (例如包括水分、溶剂、致孔剂或任

何其他会妨碍在固化系统 20 中执行的固化处理的污染物) 或使其降低至足够的水平。

[0046] 例如, 从干燥处理之前直至干燥处理之后充分地减少介电膜内存在的特定污染物可以包括: 减少特定污染物的约 10% 至约 100%。可利用傅里叶变换红外 (FTIR) 光谱分析技术或质谱分析技术来测量污染物减少的水平。或者, 例如, 对介电膜中存在的特定污染物的充分减少可以在从约 50% 至约 100% 的范围内。或者, 例如, 对介电膜中存在的特定污染物的充分减少可以在从约 80% 至约 100% 的范围内。

[0047] 还参考图 3A, 固化系统 20 可以被配置为通过在介电膜内引起或部分地引起交联以例如改进介电膜的机械特性来固化介电膜。此外, 固化系统 20 可以被配置为通过引起或部分引起交联引发体、致孔剂熔尽及致孔剂分解等来固化介电膜。固化系统 20 可包括一种或多种辐射源, 其被配置为将具有介电膜的衬底暴露于处于多个电磁 (EM) 波长的 EM 辐射。例如, 所述一种或多种辐射源可以包括红外线 (IR) 辐射源及可选的紫外线 (UV) 辐射源。可以同时地、相继地或彼此重叠地使衬底暴露于 UV 辐射及可选 IR 辐射。在相继暴露过程中, 使衬底暴露于 UV 辐射例如可先于使衬底暴露于 IR 辐射, 反之亦可。

[0048] 例如, IR 辐射可以包括在从约 1 微米至约 25 微米 (理想地, 从约 8 微米至约 14 微米) 的范围内的 IR 波带源。此外, 例如, UV 辐射可以包括产生从约 100 纳米 (nm) 至约 600nm (理想地, 从约 200nm 至约 400nm) 的范围内的辐射的 UV 波带源。

[0049] 此外, 如图 3A 所示, 传送系统 30 可以连接至干燥系统 10, 以将衬底传送出干燥系统 10 及固化系统 20, 并与多单元制造系统 40 交换衬底。传送系统 30 可以在保持真空环境的情况下将衬底传送出干燥系统 10 及固化系统 20。干燥系统 10 及固化系统 20 以及传送系统 30 例如可以包括多单元制造系统 40 内的处理单元。例如, 多单元制造系统 40 可允许将衬底传送至包括诸如蚀刻系统、沉积系统、涂布系统、图案化系统以及计量系统等处理单元, 以及从所述处理单元传送衬底。为了隔离在第一及第二系统中发生的处理, 可以利用隔离组件 50 来连接各个系统。例如, 隔离组件 50 可以包括用于提供热隔离的热绝缘组件及用于提供真空隔离的闸门阀组件中的至少一者。干燥和固化系统 10、20 以及传送系统 30 可以按照任意次序来布置。

[0050] 如上所述, 可在干燥系统 10、或固化系统 20、或分立的处理系统 (未示出) 中执行对衬底的 IR 暴露。

[0051] 或者, 在本发明的另一实施例中, 图 3B 示出了用于处理衬底上的介电膜的处理系统 100。处理系统 100 包括用于干燥系统 110 及固化系统 120 的“组合设备 (cluster-tool)”布置。例如, 干燥系统 110 可被配置为去除介电膜中的一种或多种污染物 (例如包括水分、溶剂、致孔剂或任何其他会妨碍在固化系统 120 中执行的固化处理的污染物) 或使其降低至足够的水平。此外, 固化系统 120 例如可以被配置为通过在介电膜内引起或部分地引起交联以例如改进介电膜的机械特性来固化介电膜。此外, 处理系统 100 可以可选地包括被配置为修饰固化介电膜的后处理系统 140。例如, 后处理可以包括在介电膜上旋压涂布或汽相淀积另一膜来促进后续膜的附着性或提高疏水性。或者, 例如可通过使衬底暴露于等离子体, 利用离子体轻微轰击介电膜来在后处理系统中实现对附着性的促进。

[0052] 此外, 如图 3B 所示, 传送系统 130 可连接至干燥系统 110 以将衬底传送出干燥系统 110, 并可连接至固化系统 120 以将衬底传送出固化系统 120, 并可连接至可选的后处理系统 140 以将衬底传送出后处理系统 140。传送系统 130 可在保持真空环境的情况

下将衬底传送出干燥系统 110、固化系统 120 及后处理系统 140。

[0053] 此外,传送系统 130 可与一个或多个衬底盒(未示出)交换衬底。尽管在图 3B 中仅示出两个或三个处理系统,但例如其他处理系统也可以对包括诸如蚀刻系统、沉积系统、涂布系统、图案化系统以及计量系统等的传送系统 130 进行访问。为了将干燥和固化系统中发生的处理隔离,可利用隔离组件 150 来连接各个系统。例如,隔离组件 150 可包括用于提供热隔离的热绝缘组件及用于提供真空隔离的闸门阀组件中的至少一者。此外,传送系统 130 例如可用作隔离组件 150 的一部分。

[0054] 如上所述,可在干燥系统 110、或固化系统 120、或分立的处理系统(未示出)中执行对衬底的 IR 暴露。

[0055] 或者,在本发明的另一实施例中,图 3C 示出了用于处于衬底上的介电膜的处理系统 200。处理系统 200 包括干燥系统 210 以及固化系统 220。干燥系统 210 例如可以被配置为去除介电膜中的一种或多种污染物(例如包括水分、溶剂、致孔剂或任何其他会妨碍在固化系统 220 中执行的固化处理的污染物)或使其降低至足够的水平。此外,固化系统 220 例如可以被配置为通过在介电膜内引起或部分地引起交联以例如改进介电膜的机械特性来固化介电膜。此外,处理系统 200 可选择性地包括被配置为修饰固化介电膜的后处理系统 240。例如,后处理可包括在介电膜上旋压涂布或汽相淀积另一膜来促进后续膜的附着性或提供疏水性。或者,例如可通过使衬底暴露于等离子体,利用离子体轻微轰击介电膜来在处理后续系统中实现对附着性的促进。

[0056] 干燥系统 210、固化系统 220 以及后处理系统 240 可以水平地布置或竖直地布置(即,堆叠)。此外,如图 3C 所示,传送系统 230 可连接至干燥系统 210 以将衬底传送出干燥系统 210,可连接至固化系统 220 以将衬底传送出固化系统 220,并可连接至后处理系统 240 以将衬底传送出后处理系统 240。传送系统 230 可在保持真空环境的情况下将衬底传递出入干燥系统 210、固化系统 220 以及后续处理系统 240。

[0057] 此外,传送系统 230 可与一个或更多衬底盒(未示出)来交换衬底。尽管在图 3C 中仅示出三个处理系统,但例如其他处理系统也可对包括诸如蚀刻系统、沉积系统、涂布系统、图案化系统以及计量系统等的传送系统 230 进行访问。为了隔离在第一及第二系统中发生的处理,可利用隔离组件 250 来连接各个系统。例如,隔离组件 250 可包括用于提供热隔离的热绝缘组件及用于提供真空隔离的闸门阀组件中的至少一者。此外,传送系统 230 例如可用作隔离组件 250 的一部分。

[0058] 如上所述,可在干燥系统 210、固化系统 220 或分立的处理系统(未示出)中执行对衬底的 IR 暴露。

[0059] 图 3A 所示的处理系统 1 的干燥系统 10 及固化系统 20 中的至少一者包括至少两个允许衬底通过的传送开口。例如,如图 3A 所示,干燥系统 10 包括两个传送开口,即允许衬底在干燥系统 10 与传送系统 30 之间通过的第一传送开口以及允许衬底在干燥系统与固化系统之间通过的第二传送开口。但是,对于图 3B 中所示的处理系统 100 以及图 3C 中所示的处理系统 200,各个处理系统 1、10、120、140 以及 210、220、240 分别包括允许衬底通过的至少一个传送开口。

[0060] 现参考图 4,示出根据本发明的另一实施例的干燥系统 300。干燥系统 300 包括干燥室 310,干燥室 310 被配置为产生使衬底保持器 320 上放置的衬底 325 干燥所用的清洁无

污染环境。干燥系统 300 可包括连接至干燥室 310 或连接至衬底保持器 320 的热处理装置 330, 并且热处理装置 330 被配置为通过提高衬底 325 的温度来使诸如水分及残余溶剂等污染物蒸发。此外, 干燥系统 300 可包括连接至干燥室 310 的微波处理装置 340, 并且微波处理装置 340 被配置为在振荡电场存在的情况下局部地加热污染物。干燥处理可利用热处理装置 330、或微波处理装置 340、或两者来帮助使衬底 325 上的介电膜干燥。

[0061] 热处理装置 330 可包括连接至电源及温度控制器的被嵌入在衬底保持器 320 内的一个或更多传导加热器件。例如, 各个加热器件可包括与被配置为用于供电的电源连接的电阻加热器件。或者, 热处理装置 330 可包括与电源及控制器连接的一个或多个辐射加热器件。例如, 各个辐射加热器件可包括与被配置为用于供电的电源连接的加热灯。衬底 325 的温度例如可在从约 20°C 至约 500°C 的范围内, 理想地, 该温度可在从约 200°C 至约 400°C 的范围内。

[0062] 微波处理装置 340 可包括被配置为在频率带宽上进行微波扫描的变频微波源。频率变化可避免电荷累积, 由此允许应用对灵敏电子装置无损害的微波干燥技术。

[0063] 在一个示例中, 干燥系统 300 可包括结合变频微波装置及热处理装置两者的干燥系统, 例如可从 Lambda Technologies, Inc. (860 Aviation Parkway, Suite 900, Morrisville, NC 27560) 商购获得的微波炉。

[0064] 衬底保持器 320 可以被配置为或可以不被配置为用于夹持衬底 325。例如, 衬底保持器 320 可以被配置为机械地或电气地夹持衬底 325。

[0065] 再参考图 4, 干燥系统 300 还可包括连接至干燥室并被配置为向干燥室 310 引入清污气体的气体注入系统 350。清污气体例如可包括惰性气体, 例如稀有气体或氮气。此外, 干燥系统 300 可包括连接至干燥室 310 并被配置为排空干燥室 310 的真空泵吸系统 355。在干燥处理过程中, 衬底 325 可不在真空状况下或可在真空状况下经历惰性气体环境。

[0066] 此外, 干燥系统 300 可包括连接至干燥室 310、衬底保持器 320、热处理装置 330、微波处理装置 340、气体注入系统 350 以及真空泵吸系统 355 的控制器 360。控制器 360 包括微处理器、存储器、以及能够生成足以连通干燥系统 300 并激活对干燥系统 300 的输入并且足以对来自干燥系统 300 的输出进行键控的控制电压的数字 I/O 端口。根据所存储的处理配置, 利用存储在存储器中的程序与干燥系统 300 相互作用。控制器 360 可用于设置任意数量的处理单元 (310, 320, 330, 340, 350 或 355), 并且控制器 360 可收集、提供、处理、存储并显示来自处理单元的数据。控制器 360 可包括一些用于控制一个或多个处理单元的应用程序。例如, 控制器 360 可包括图形用户界面 (GUI) 部件 (未示出), 其可提供能够使用户监控并 / 或控制一个或多个处理单元的界面。

[0067] 现参考图 5, 示出了根据本发明的另一实施例的固化系统 400。固化系统 400 包括固化室 410, 固化室 410 被配置为产生使衬底保持器 420 上放置的衬底 425 固化所用的清洁无污染环境。固化系统 400 还包括被配置为使具有介电膜的衬底 425 暴露于单个、多个、窄带或宽带电磁 (EM) 波长的 EM 辐射的一个或多个辐射源。所述一个或多个辐射源可包括可选的红外线 (IR) 辐射源 440 及紫外线 (UV) 辐射源 445。可同时地、相继地或彼此重叠地使衬底暴露于 UV 辐射及可选 IR 辐射。

[0068] IR 辐射源 440 可包括宽带 IR 源或可包括窄带 IR 源。IR 辐射源可包括一个或多个 IR 灯、一个或多个 IR LED、一个或多个 IR 激光器 (连续波 (CW)、可调、或脉冲)、或者上

述 IR 源的任意组合。IR 功率可在从约 0.1mW 至约 2000W 的范围内。IR 辐射波长可在从约 1 微米至约 25 微米的范围内,理想地可在从约 8 微米至约 14 微米的范围内。例如,IR 辐射源 440 可包括 IR 器件,例如陶瓷器件或碳化硅器件,具有在从约 1 微米至约 25 微米的范围内的光谱输出,或者 IR 辐射源 440 可包括具有光参量放大的半导体激光器(二极管)、或离子、Ti:蓝宝石、或染料激光器。

[0069] UV 辐射源 445 可包括宽带 UV 源,或可包括窄带 UV 源。UV 辐射源可包括一个或多个 UV 灯、一个或多个 UV LED、一个或多个 UV 激光器(连续波(CW)、可调、或脉冲)、或者上述 UV 源的任意组合。UV 辐射例如可从微波源、电弧放电、介电屏蔽(dielectric barrier)放电、或电子碰撞发生而产生。UV 功率密度可在从约 0.1mW/cm² 至约 2000mW/cm² 的范围内。UV 波长可在从约 100 纳米(nm) 至约 600nm 的范围内,并理想地可在从约 200nm 至约 400nm 的范围内。例如,UV 辐射源 445 可包括诸如 Deuterium(D₂) 灯之类的直流(DC) 或脉冲灯,具有从约 180nm 至约 500nm 范围内的光谱输出,或者 UV 辐射源 445 可包括半导体激光器(二极管)、(氮气) 气体激光器、三倍频率 Nd:YAG 激光器、或铜蒸汽激光器。

[0070] IR 辐射源 440、或 UV 辐射源 445、或两者可以包括任意数量的光学装置以调节输出辐射的一个或多个特性。例如,每个源还可包括光学滤波器、光学透镜、光束扩展器、光束准直仪等。光学及 EM 波传播领域的技术人员公知的这些光学控制装置适用于本发明。

[0071] 衬底保持器 420 还可包括温度控制系统,其可被配置为提高和 / 或控制衬底 425 的温度。温度控制系统可以是热处理装置 430 的一部分。衬底保持器 420 可包括连接至电源及温度控制器的被嵌入在衬底保持器 420 内的一个或多个传导加热器件。例如,各个加热器件可包括与被配置为用于供电的电源连接的电阻加热器件。衬底保持器 420 可选择性地包括一个或多个辐射加热器件。衬底 425 的温度例如可在从约 20°C 至约 500°C 的范围内,理想地,该温度可在从约 200°C 至约 400°C 的范围内。

[0072] 此外,衬底保持器 420 可被配置为或可以不被配置为用于夹持衬底 425。例如,衬底保持器 420 可被配置为机械地或电气地夹持衬底 425。

[0073] 再参考图 5,干燥系统 400 还可包括连接至干燥室 410 并被配置为向干燥室 410 引入清污气体的气体注入系统 450。清污气体例如可包括惰性气体,例如稀有气体或氮气。或者,清污气体可包括其他气体,例如 H₂、NH₃、C_xH_y、或上述气体的任意组合。此外,固化系统 400 还可包括连接至固化室 410 并被配置为排空固化室 410 的真空泵吸系统 455。在固化处理过程中,衬底 425 可不在真空状态下或在真空状况下经历清污气体环境。

[0074] 此外,固化系统 400 可包括连接至固化室 410、衬底保持器 420、热处理装置 430、IR 辐射源 440、UV 辐射源 445、气体注入系统 450 以及真空泵吸系统 455 的控制器 460。控制器 460 包括微处理器、存储器、以及能够生成足以连通并激活对固化系统 400 的输入并且足以对来自固化系统 400 的输出进行监控的控制电压的数字 I/O 端口。根据存储的处理配置,利用存储在存储器中的程序与固化系统 400 相互作用。控制器 460 可用于设置任意数量的处理单元(410, 420, 430, 440, 445, 450 或 455),并且控制器 460 可收集、提供、处理、存储并显示来自处理单元的数据。控制器 460 可包括一些用于控制一个或多个处理单元的应用程序。例如,控制器 460 可包括图形用户界面(GUI) 部件(未示出),其可提供能够使用户监控并 / 或控制一个或更多处理器件的易于使用的界面。

[0075] 可以用 DELL PRECISION WORKSTATION 610™ 来实现控制器 360 及 460。还可以用

通用计算机、处理器、及数字信号处理器等来实现控制器 360 及 460,其可响应于控制器 360 及 460 执行在计算机可读介质中存储的一个或多个包含一个或多个指令的序列,使衬底处理设备执行本发明的全部或一部分处理步骤。计算机可读介质或存储器用于保持根据本发明的教导而编程的指令,并用于包含这里所述的数据结构、表格、记录或其他数据。计算机可读介质的示例是紧致盘、硬盘、软盘、磁带、磁光盘、PROM (EPROM, EEPROM, 闪存 EPROM)、DRAM、SRAM、SDRAM 或其他任意磁性介质,紧致盘(例如, CD-ROM)或任何其他光学介质,打孔卡、纸带、或其他具有孔图案的物理介质,载波(下述)、或计算机可读的任何其他介质。

[0076] 控制器 360 及 460 可相对于干燥系统 300 及固化系统 400 本地地布置,或可相对于干燥系统 300 及固化系统 400 经由互联网或局域网远程地布置。因此,控制器 360 及 460 可利用直接连接、局域网或互联网中的至少一者来与干燥系统 300 及固化系统 400 交换数据。控制器 360 及 460 可在客户端(即,器件制造商处等)连接至局域网,或在供应商端(即,设备制造商处)连接至局域网。此外,另一计算机(即,控制器,服务器等)可经由直接连接、局域网及互联网中的至少一者访问控制器 360 及 460 以交换数据。

[0077] 此外,本发明的实施例可用作或支持以处理核的某些形式(例如,计算机的处理器,例如,控制器 360 或 460)执行的软件程序,或者在机器可读介质上或机器可读介质内执行或实现。机器可读介质包括用于以机器(例如,计算机)可读形式存储信息的任何机制。例如,机器可读介质可包括诸如只读存储器(ROM);随机存取存储器(RAM);磁盘存储介质;光学存储介质;以及闪存器件等。

[0078] 尽管在以上已经仅详细描述了本发明的特定示例性实施例,但本领域的技术人员容易理解,可在不实质性地脱离本发明的新颖教导及优点的情况下,在示例性实施例中实现各种改变示例。因此,本发明的范围意在包含所有这些改变示例。

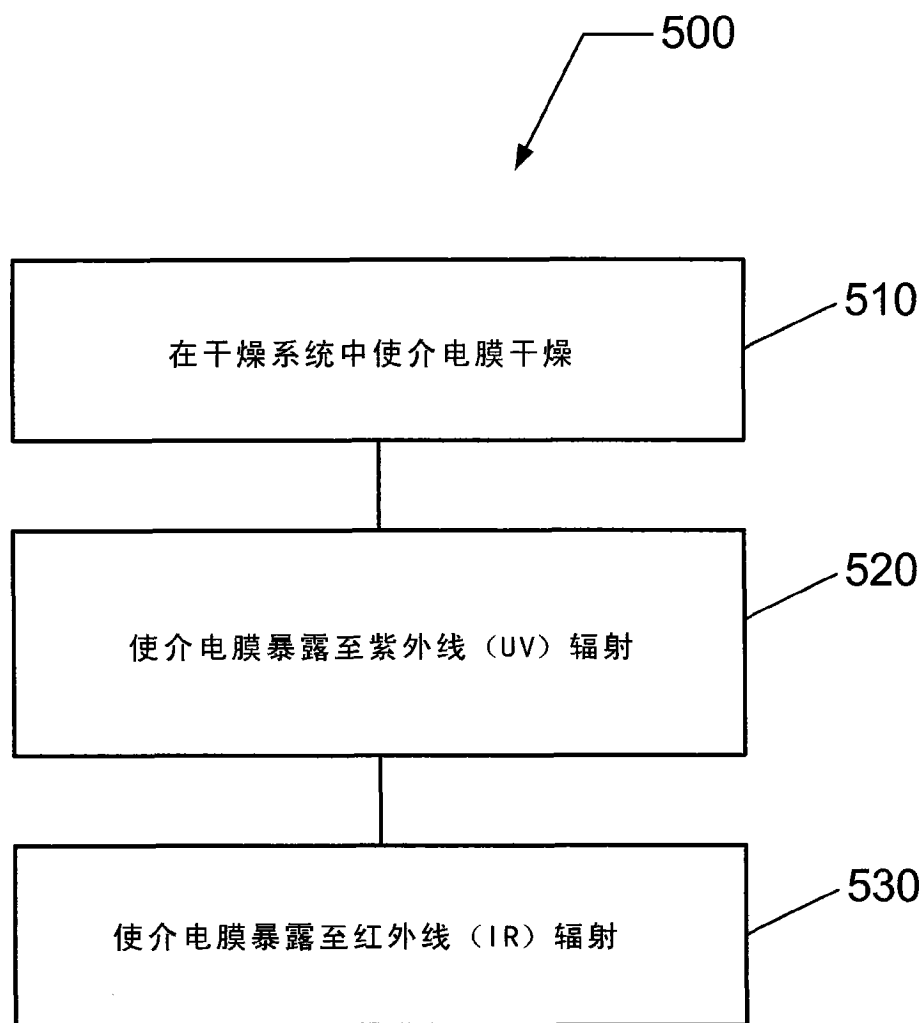


图 1

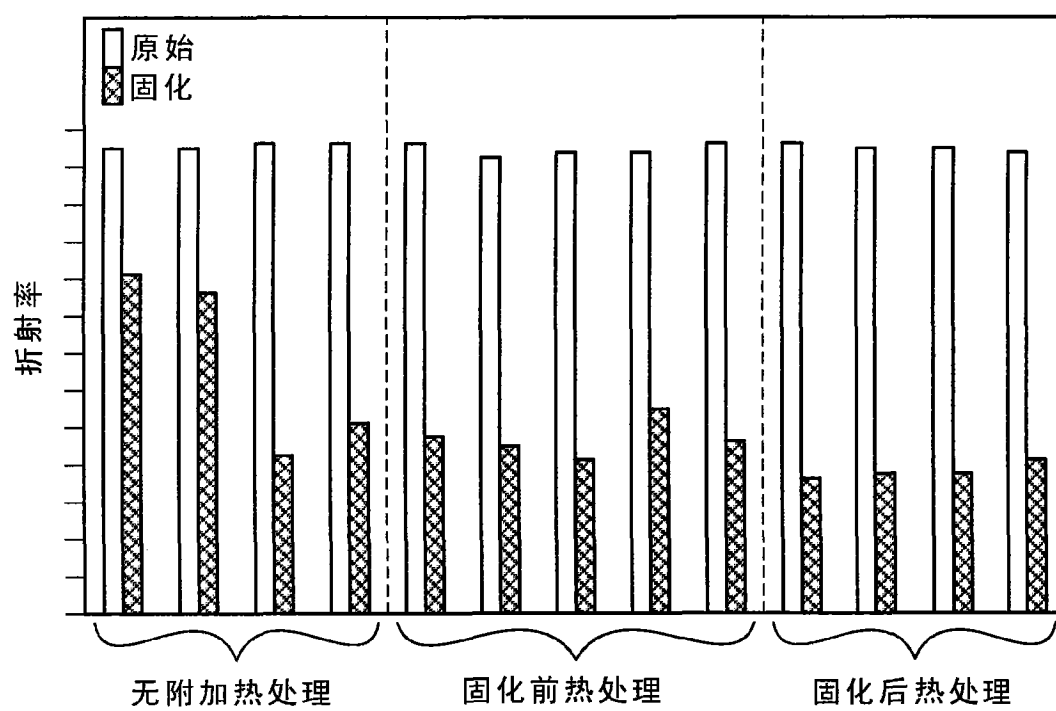


图 2

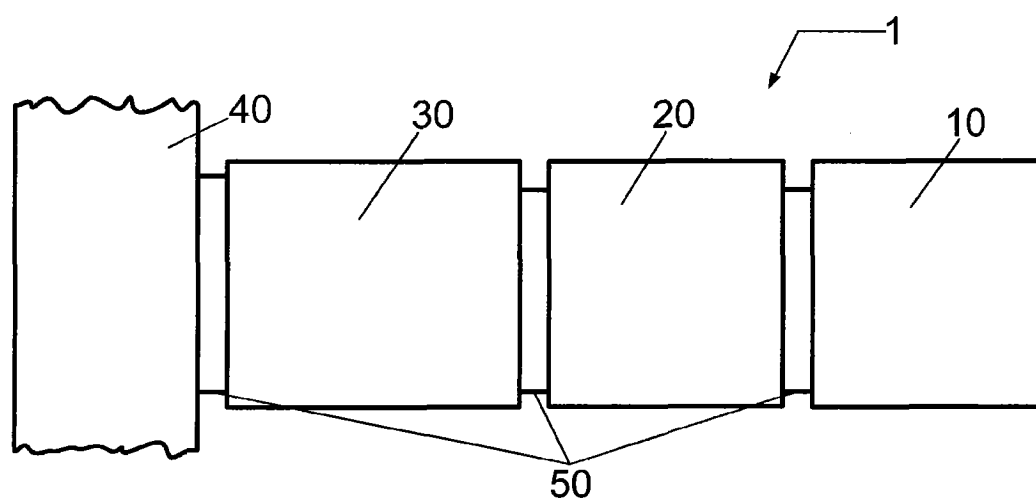


图 3A

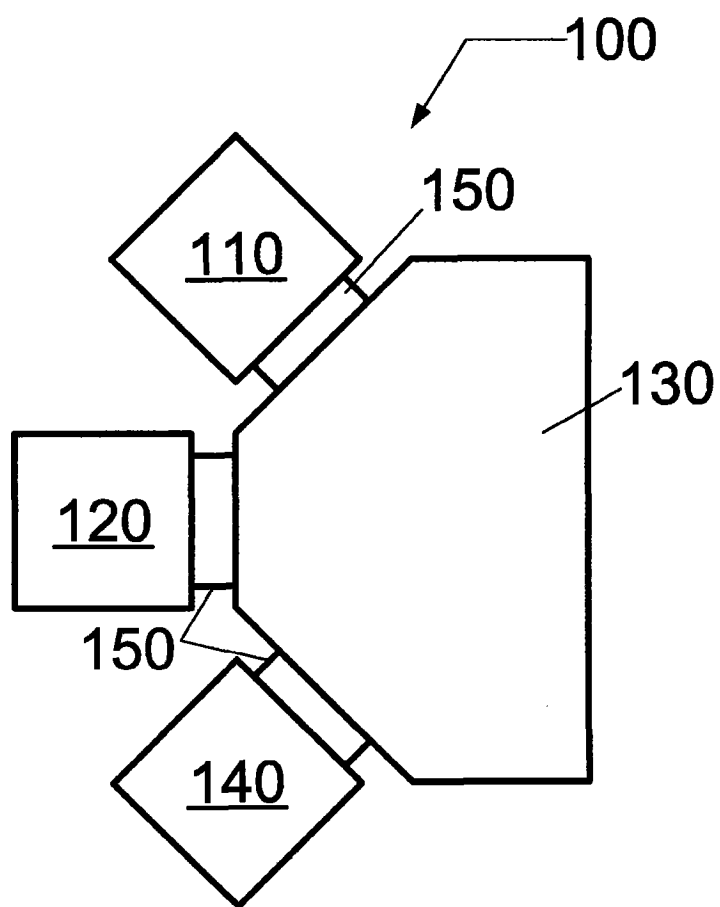


图 3B

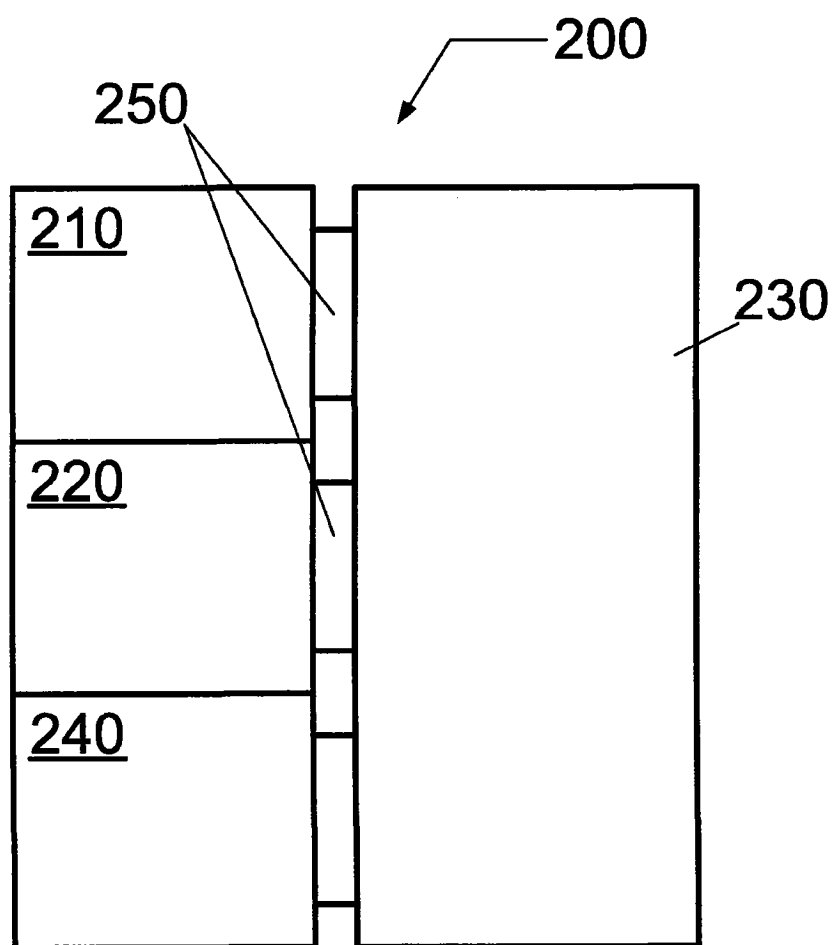


图 3C

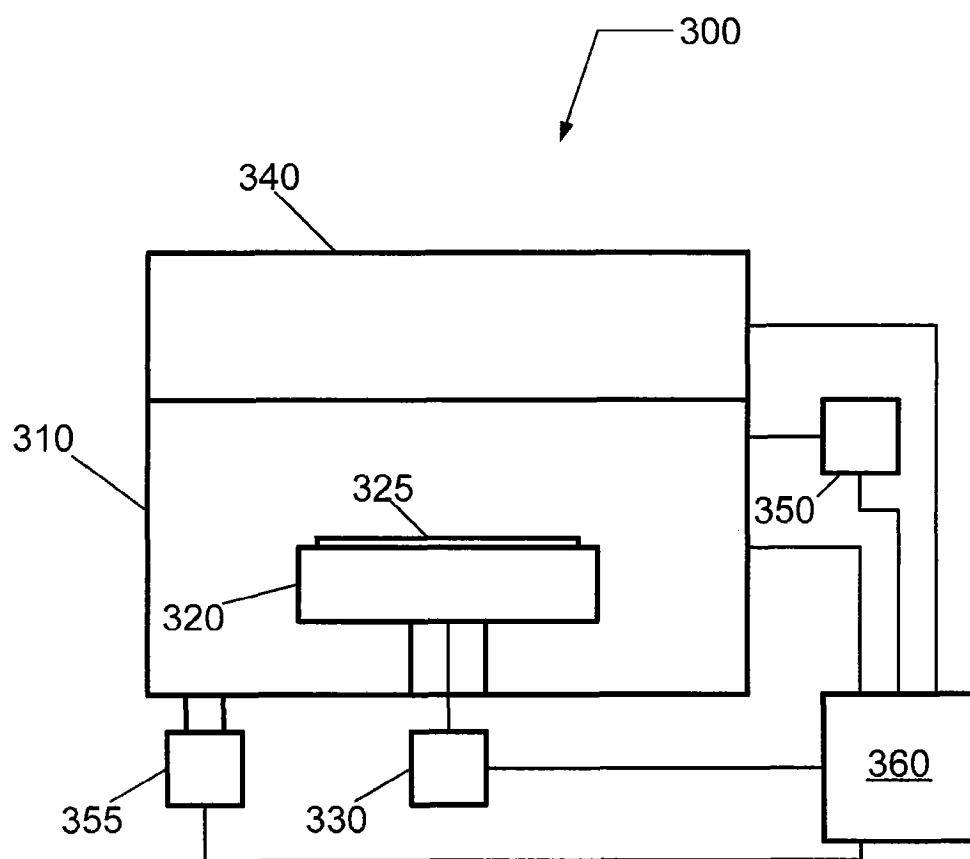


图 4

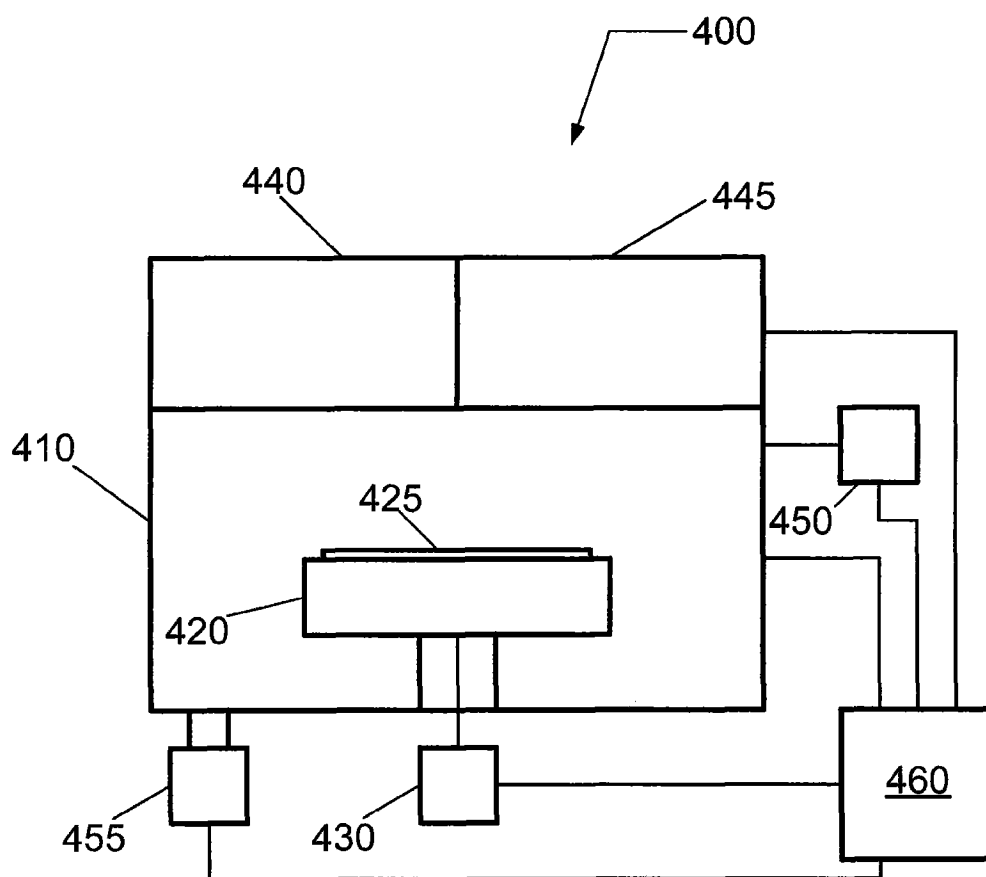


图 5