



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101965636 A

(43) 申请公布日 2011. 02. 02

(21) 申请号 200980108032. 0

代理人 王安武 南霆

(22) 申请日 2009. 03. 05

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

H01L 21/768 (2006. 01)

12/044, 191 2008. 03. 07 US

H01L 23/532 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 09. 07

(86) PCT申请的申请数据

PCT/IB2009/050910 2009. 03. 05

(87) PCT申请的公布数据

W02009/109934 EN 2009. 09. 11

(71) 申请人 东京毅力科创株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 铃木健二 五味淳 定免美保

(74) 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理

有限责任公司 11258

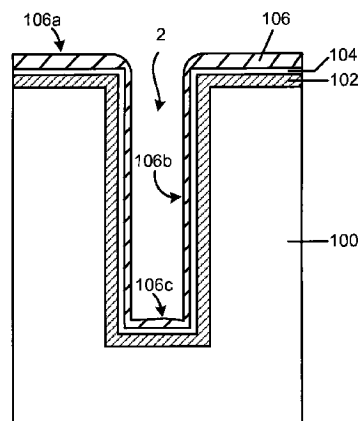
权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 10 页

(54) 发明名称

使用光滑无聚集的铜种层进行凹入特征的无空隙填充

(57) 摘要

本发明提供一种用于控制衬底上铜聚集和用于形成集成电路中凹入特征的无空隙块状金属铜填充的方法。在一个实施例中,该方法包括:提供具有图案的衬底,而该图案包括上表面和至少一个凹入特征,而该凹入特征至少包括侧壁表面和下表面;在该衬底图案上沉积屏蔽膜;并且在该屏蔽膜上沉积含金属润湿膜。该方法还包括通过物理气象沉积法在该含金属润湿膜上沉积金属铜,其中衬底温度足够高,由此在该含金属润湿膜上形成光滑金属铜种层。可在至少一个凹入特征中电镀无空隙块状金属铜。



1. 一种用于控制衬底上铜聚集的方法,所述方法包括:

提供具有图案的衬底,所述图案包括上表面和至少一个凹入特征,所述凹入特征至少包括侧壁表面和下表面;

在所述衬底图案上沉积屏蔽膜;

在所述屏蔽膜上沉积含金属润湿膜;并且

通过物理气象沉积法在所述含金属润湿膜上沉积金属铜,其中,所述含金属润湿膜可阻止所述金属铜聚集,及其中所述衬底温度足够高,由此使得所述金属铜在所述含金属润湿膜上形成光滑的金属铜种层。

2. 如权利要求1所述的方法,其中,所述含金属润湿膜包含金属钌(Ru)、金属钯(Pd)、金属铑(Rh)、或金属银(Ag)、或还包含氮、氧、碳、硼或磷的Ru、Pd、Rh或Ag的化合物。

3. 如权利要求1所述的方法,其中,所述光滑金属铜种层连续涂覆所述含金属润湿膜。

4. 权利要求1所述的方法,还包括:

在存在惰性气体、 H_2 气体、或 H_2 气体与惰性气体的混合物的情况下,在介于约 $100^{\circ}C$ 与 $400^{\circ}C$ 之间的温度下对所述含金属润湿膜进行热处理。

5. 权利要求1所述的方法,还包括:

在存在惰性气体、 H_2 气体、或 H_2 气体与惰性气体的混合物的情况下,在介于约 $100^{\circ}C$ 与 $400^{\circ}C$ 之间的温度下对所述金属铜种层进行热处理。

6. 如权利要求1所述的方法,其中,所述屏蔽膜包括氮化钽、氮化钛、氮化钨、氮化硅钽、氮化硅钛、或氮化硅钨、或它们的混合物。

7. 如权利要求1所述的方法,其中,所述衬底温度大于 $0^{\circ}C$ 。

8. 如权利要求1所述的方法,其中,所述至少一个凹入特征形成在介电材料上。

9. 一种加工衬底的方法,所述方法包括:

提供具有图案的衬底,所述图案包括上表面和至少一个凹入特征,所述凹入特征至少包括侧壁表面和下表面;

在所述衬底图案上沉积屏蔽膜,所述至少一个凹入特征中所述屏蔽膜的厚度介于约1nm至约10nm之间;

在所述屏蔽膜上沉积含金属润湿膜,所述含金属润湿膜包含金属钌(Ru)、金属钯(Pd)、金属铑(Rh)、金属银(Ag)、或还包含氮、氧、碳、硼或磷的Ru、Pd、Rh或Ag的化合物;

通过物理气象沉积法在所述含金属润湿膜上沉积金属铜,其中所述含金属润湿膜可阻止所述金属铜的聚集,及其中所述衬底温度大于 $0^{\circ}C$,并使所述金属铜在所述含金属润湿膜上形成光滑金属铜种层;并且

在所述至少一个凹入特征中电镀无空隙块状金属铜。

10. 如权利要求9所述的方法,其中所述电镀填充或过渡填充所述至少一个凹入特征。

11. 权利要求9所述的方法,还包括:

在存在惰性气体、 H_2 气体、或 H_2 气体与惰性气体的混合物的情况下,在介于约 $100^{\circ}C$ 与 $400^{\circ}C$ 之间的温度下,对所述含金属润湿膜进行热处理。

12. 权利要求9所述的方法,还包括:

在存在惰性气体、 H_2 气体、或 H_2 气体与惰性气体的混合物的情况下,在介于约 $100^{\circ}C$ 与 $400^{\circ}C$ 之间的温度下,对所述金属铜种层进行热处理。

13. 如权利要求 9 所述的方法,其中所述屏蔽膜包括氮化钽、氮化钛、氮化钨、氮化硅钽、氮化硅钛、或氮化硅钨、或它们的混合物。

14. 如权利要求 9 所述的方法,其中,所述光滑金属铜种层连续涂覆所述含金属润湿膜。

15. 一种加工衬底的方法,所述方法包括:

提供具有图案的衬底,所述图案包括上表面和至少一个凹入特征,所述凹入特征至少包括侧壁表面和下表面,所述至少一个凹入特征包括过孔、沟槽、或其结合体;

在包含所述至少一个凹入特征的所述衬底图案上沉积屏蔽膜,所述一个或多个凹入特征中的所述屏蔽膜的厚度介于约 1nm 至约 10nm 之间;

通过利用前体 $\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$ 和载气 CO 的化学汽相沉积法在所述屏蔽膜上沉积金属钌润湿膜,在所述一个或多个凹入特征中所述金属钌润湿膜的厚度介于约 0.1nm 至约 5nm 之间;

通过物理气象沉积法在所述金属钌润湿膜上沉积金属铜,其中所述含金属润湿膜可阻止所述金属铜的聚集,及其中所述衬底温度大于 0°C ,并使所述金属铜在所述凹入特征中于金属钌膜上形成厚度介于 0.1nm 至 5nm 之间的光滑金属铜种层;并且

在所述至少一个凹入特征中电镀无空隙块状金属铜,其中所述电镀填充或过渡填充所述至少一个凹入特征。

16. 权利要求 15 所述的方法,还包括:

在存在惰性气体、 H_2 气体、或 H_2 气体与惰性气体的混合物的情况下,在介于约 100°C 与 400°C 之间的温度下,对所述金属润湿膜进行热处理。

17. 权利要求 15 所述的方法,还包括:

在存在惰性气体、 H_2 气体、或 H_2 气体与惰性气体的混合物的情况下,在介于约 100°C 与 400°C 之间的温度下,对所述金属铜种层进行热处理。

18. 如权利要求 15 所述的方法,其中所述屏蔽膜包括氮化钽、氮化钛、氮化钨、氮化硅钽、氮化硅钛、或氮化硅钨、或它们的混合物。

19. 如权利要求 15 所述的方法,其中,所述光滑金属铜种层连续涂覆所述金属钌润湿膜。

20. 如权利要求 15 所述的方法,其中,所述凹入特征的宽度约为 100nm 或更小,及其纵横比大于 2 : 1。

使用光滑无聚集的铜种层进行凹入特征的无空隙填充

[0001] 关联申请的交叉引用

[0002] 本发明与公开号为 11/693,298 (代理案件号为 TTCA-178), 申请日为 2007 年 3 月 29 日, 专利名称为“形成低电阻率铜膜结构的方法 (METHOD OF FORMING LOW-RESISTIVITY COPPER FILMSTRUCTURES)”的美国专利申请相关。本发明与公开号为 11/864,566 (代理人案件号为 TTCA-229), 申请日为 2007 年 9 月 28 日, 专利名称为“半导体器件中凹入特征的无空隙铜填充 (VOID-FREE COPPERFILLING RECESSED FEATURES FOR SEMICONDUCTOR DEVICES)”的美国专利申请相关。在此通过引用将其整体结合在本说明书中。

技术领域

[0003] 本发明涉及半导体器件的制造, 更具体而言, 涉及集成电路中控制衬底上铜的聚集和凹入特征的无空隙块状金属铜 (Cu) 填充的加工方法。

背景技术

[0004] 集成电路 (IC) 包括半导体器件和多个为半导体器件提供电流及允许这些半导体器件共享和交换信息的导电金属路径。金属层堆积在另一可彼此绝缘金属层的内部金属层或夹层介电层的上方。通常地, 各个金属层必须至少与一个附加金属层形成电接触。这样的电接触可以通过在分离金属层的夹层电介质中蚀刻孔 (例如过孔), 并将所得的过孔用金属填满以生成互连结构实现。金属层通常占据着夹层电介质中的蚀刻路径。“过孔”通常涉及任何形成于介电层中、通过介电层为其下层的导电层提供电接触的微观特征如孔、直线或其它类似特征。类似地, 包括连接两个或更多过孔的金属层的微观特征通常被参考为沟槽。

[0005] 在集成电路 (IC) 技术的不断发展中, 长远的目标是不断缩减 IC 维度。IC 维度的这个缩减可减少区域电容, 而且对获得更高的 ICs 速度性能是至关重要的。此外, IC 芯片面积的缩小导致 IC 生产线中的更高产量。这些发展是不断缩减 IC 维度的驱动力。器件性能的增加通常是通过器件面积的减少或器件密度的增加而实现的。器件密度的增加需要过孔维度的降低, 这该过孔用于形成互连结构, 包括较大的纵横比 (例如, 深度和宽度之比)。当图案衬底 (晶片) 上的最小特征维度稳定减小时, 该缩减的数几个结果就变得越来越明显。当金属连线的宽度缩减至亚微米及甚至纳米维度时, 这些小特征便很难用块状金属填满, 这将导致块状金属填充物中形成空隙和电迁移失败, 而电迁移失败可能会导致打开和挤出金属连线。

[0006] 在用于生产集成电路的多层金属化方案中, 金属铜的引入可通过镶嵌块状金属铜电镀方法实现, 其中, 块状金属被用于填充过孔及 / 或沟槽, 并且执行化学机械平坦化 (CMP) 可使块状金属铜平坦化。目前金属铜电镀方法广泛用于高级微处理器和具体电路应用的厂家。然而, 金属铜不能直接和介电材料接触, 因为金属铜对于介电材料具有较差的粘附性, 而且金属铜容易渗出诸如硅和介电材料等普通的集成电路材料是公知的, 其中铜为半能带隙杂质。此外, 氧气可以从含氧的介电材料中渗入金属铜, 从而降低了金属铜的导电

性能。因此,渗透屏蔽材料(diffusion barrier material)被形成于介电材料上,和集成电路中的其它材料包围金属铜,并阻止金属铜渗入集成电路材料。氮化钽/钽双分子层通常被用作铜金属化时的渗漏屏蔽/粘附层,因为氮化钽屏蔽膜可以很好地吸附氧化物,且为铜渗漏提供一个很好的屏蔽,以及氮化钽屏蔽为形成于其上的氮化钽和形成于其上的金属铜提供很好的粘结。然而,钽粘附层容易被氧化,这将降低它的铜润湿性。

[0007] 互连结构上的金属铜电镀通常在金属铜电镀之前需要一个沉积于衬底图案上的成核或种层(例如,金属铜种层)。然而,当金属铜种层在室温下沉积于钽和许多其它材料上时,就会产生金属铜聚集(copper metal agglomeration)是共知的。金属铜聚集会导致不连续的金属铜种层。金属铜聚集对随后的金属铜电镀过程是有害的,而且会导致平板块状金属铜中频繁出现空隙。为了减少钽粘附层上的金属铜聚集,金属铜种层经常在较低的衬底温度下沉积,例如-25℃、-30℃或更低的衬底温度,并在较低的衬底温度下使用低温的静电卡盘来支持和维持衬底(晶片)。然而,较低的衬底温度会导致粗糙的或不规则的金属铜层,且不会消除钽粘附层上的金属铜聚集和平板块状金属铜上形成的空隙。

[0008] 因此,用于形成平滑且无聚集的金属铜种层的过程方法是必需的,以允许具有高纵横比的小凹入特征的无空隙金属铜填充。

发明内容

[0009] 本文提供了一种用于控制衬底上的铜聚集和用于形成集成电路中凹入特征的无空隙块状金属铜填充的方法。该方法利用了能够形成平滑金属铜种层的含金属润湿膜和具有高纵横比的小凹入特征的无空隙金属铜填充。

[0010] 根据本发明的一个实施例,提供了一种用于控制衬底上铜聚集的方法。该方法包括提供具有图案的衬底,而该图案包括上表面和至少一个凹入特征,而该凹入特征由至少一个侧壁表面和下表面组成;在该衬底图案上沉积屏蔽膜;在该屏蔽膜上沉积含金属润湿膜;以及通过物理气象沉积法在含金属润湿膜上沉积金属铜,其中含金属润湿膜可阻止金属铜聚集,及其中衬底温度基本很高以使金属铜在含金属润湿膜上形成光滑的金属铜种层。

[0011] 根据本发明的一个实施例,提供了一种加工衬底的方法。该方法包括提供具有图案的衬底,而该图案包括上表面和至少一个凹入特征,而该凹入特征至少由一个侧壁表面和下表面组成;在该衬底图案上沉积屏蔽膜;以及在该屏蔽膜上沉积含金属润湿膜。该方法还包括在含金属润湿膜上物理气象沉积金属铜,其中含金属润湿膜可阻止金属铜的聚集,及其中衬底温度大于0℃,并使金属铜在含金属润湿膜上形成光滑的金属铜种层;以及在至少一个凹入特征上电镀无空隙块状金属铜。

附图说明

[0012] 下面附图中:

[0013] 图1A-1C概要示出了本发明的实施例中通过光滑金属铜种层使用块状金属铜进行凹入特征的无空隙填充的方法的剖视图;

[0014] 图2A-2B概要示出了使用有空隙的块状金属铜填充凹入特征的经典方法的剖视图;

[0015] 图 3A-3D 为本发明的实施例中通过光滑金属铜种层使用块状金属铜进行凹入特征的无空隙填充的方法的步骤流程图；

[0016] 图 4A 和 4B 概要示出了本发明的实施例中通过光滑金属铜种层可以充满无空隙块状金属铜的附加凹入特征的剖视图；

[0017] 图 5 示出了本发明的实施例中用于沉积光滑铜种层的制程系统的示例性方框图；以及

[0018] 图 6A-6B 示出了不同的衬底温度下在金属钎润湿膜上通过物理气相沉积法沉积金属铜种层的扫描电子显微镜 (SEM) 的剖视图。

具体实施方式

[0019] 本发明提供了一种用于控制衬底上铜聚集和用于提供集成电路中凹入特征的无空隙块状金属铜填充的方法。在一个实施例中，下层的含金属润湿膜可使凹入特征中通过物理气象沉积法的光滑金属铜种层的沉积简化。含金属润湿膜可包含金属膜，而该金属膜为电镀的金属铜膜提供较小的接触角度，从而为含金属润湿膜上金属铜提供良好的润湿性。含金属润湿膜可例如包含非晶体、多晶体或金属晶体钌 (Ru)、金属钯 (Pd)、金属铑 (Rh) 或金属银 (Ag) 或它们的混合物。在其它例子中，含金属润湿膜可包含例如这些金属和氮、氧、碳、硼或磷的化合物。在本发明的实施例中，该制程方法适合在半导体器件的高容量生产中，微小特征的无空隙块状金属铜填充，而这些半导体器件使用大图形衬底如 200mm、300mm 或更大直径的衬底。

[0020] 相关领域的技术人员应认识到各种实施例可在不具备一个或多个具体细节或具备其它更换及 / 或附加方法、材料或部件的情况下实施。在其它例子中，共知的结构和操作未被详细示出或描述以避免混淆本发明的各种实施例的方面。相似地，出于解释的目的，提到的具体数字和构造是为了提供对本发明的透彻理解。然而，本发明可在不具备具体细节的情况下被实施。此外，应理解图表中示出的各种实施例为说明性表达，且不必按比例描绘。

[0021] 贯穿此说明书，对“一个实施例”和“实施例”的引用意为一种与该实施例相关联而描述的特定特征、结构、材料、或特性被包含于至少一个实施例中。因此，在此说明书通篇的多个地方，用语“在一个实施例中”或“在实施例中”的出现都未必是指相同的实施例。此外，在一个或多个实施例中，特定的特征、结构、材料、或特性可以任何适当的方式组合。各种附加层及 / 或结构可包含于其它实施例中，及 / 或被描述的特征在其它实施例中可被忽略。

[0022] 各种操作将以一种最有助于理解本发明的方式依次被描述为多种离散操作。然而，描述的顺序不应该逐字被翻译以暗示这些操作必须依赖于顺序。具体而言，这些操作没有必要按表达的顺序执行。被描述的操作可以与被描述的实施例中的不同顺序被执行。各种附加操作在附加实施例中被执行，及 / 或被描述的特征在附加实施例中可被忽略。

[0023] 当金属铜在 IC 金属化过程中被沉积在诸如钽或氮化钽的经典屏蔽膜上时，它往往会聚集。屏蔽膜上金属铜的这种行取决于金属铜和屏蔽膜的内表面处表面张力的平衡。在钽或氮化钽屏蔽膜的实例中，甚至如果金属铜被保形沉积时，由于屏蔽膜上金属铜的热力学性能，那么沉积后金属铜便会聚集，并在金属铜种层中形成一个带有空隙的非连

续性聚集的金属铜种层以露出屏蔽膜。在实施物理气象沉积法的经典温度下,铜由于其单纯的元素组成极易流动,而且因此很快便达到热力学上的有利状态。为了减少钽或氮化钽屏蔽膜上的铜聚集,金属铜种层通常在较低或特别低的衬底温度下沉积,包括 0℃ 以下的温度,例如 -25℃、-30℃、-50℃、或甚至更低的衬底温度。尽管在这些较低和特别低的衬底温度下金属铜聚集会减少,但是该金属铜种层未提供一个光滑的屏蔽膜的金属铜涂层。

[0024] 本发明的实施例描述了用于控制衬底上铜聚集和用于在凹入特征上沉积光滑金属铜种层和用无空隙块状金属铜填充该凹入特征的制程方法。在一个实施例中,光滑金属铜种层的沉积可通过下层的含金属润湿膜实现。当代的发明人已认识到光滑金属铜种层可在相对较高的衬底温度下在含金属润湿膜上通过物理气象沉积法沉积。这是非期望的,及明显不同于现有技术的,因为如上述的,金属铜种层通常在非常低的衬底温度下被沉积,包括 0℃ 以下的温度,例如 -25℃、-30℃、-50℃、或甚至更低的衬底温度,为了减少发生在较高衬底温度下的金属铜种层聚集。

[0025] 图 6A-6B 示出了不同的衬底温度下在金属钎润湿膜上通过物理气相沉积法沉积金属铜种层的扫描电子显微镜 (SEM) 的剖视图。图 6A 示出了在 30℃ 的衬底温度下在宽度为 100nm (纳米) 及纵横比为 4 : 1 ~ 5 : 1 的凹入特征 610 中沉积在金属钎润湿膜上的金属铜形成了光滑的金属铜种层。箭头 612 示为金属铜种层和金属钎润湿膜的结合体。金属钎润湿膜的保形厚度约为 2nm,和特征 610 中的金属铜种层厚度约为 1 ~ 2nm,及在场区域中沿特征 610 的金属铜种层厚度约为 20nm。通过经典的铜电镀制程,凹入特征 610 的随后块状金属铜填充 (未示出) 达到了凹入特征 610 的无空隙填充。应该考虑光滑的金属铜种层促进了密集的金属铜成核,会导致凹入特征的块状金属铜填充中空隙的减少。

[0026] 作为对比,如图 6A 所示,当金属铜在 -30℃ 的衬底温度下在凹入特征 600 中沉积于金属钎润湿膜上以及随后被加热至约为室温进行分析时,在金属钎润湿膜上得到了一个非连续性的金属铜种层。金属铜种层和金属钎润湿膜的结合体通过箭头 602 指出。通过铜电镀制程得到的凹入特征 600 的随后的块状金属铜填充导致块状金属铜填充 (未示出) 中出现空隙。本领域的技术人员共知块状金属铜填充中空隙的出现增加了半导体器件的电阻,以及出现诸如电迁移失败 (EM) 等其它不利影响,而电迁移失败可能会导致打开和挤出金属连线。

[0027] 尽管不希望被理论所束缚,但是应该深思较高的衬底温度 (如大于 0℃,例如 30℃) 导致金属钎润湿膜上金属铜的高流动 (迁移),但是由于金属钎润湿膜的良好润湿性能,在金属钎润湿膜上形成一个光滑的金属铜种层。如果衬底温度太高,例如大于 200℃,可能会发生金属铜种层聚集。作为进一步比较,在 -30℃ 和 30℃ 的衬底温度下,在钽屏蔽膜上形成非连续的粗糙金属铜种层。这说明在金属铜物理气象沉积法期间,金属钎润湿膜和较高的衬底温度 (如大于 0℃) 的结合可形成集成电路中用于经典凹入特征的后续无空隙块状铜填充的光滑金属铜种层。

[0028] 图 1A-1C 概要示出了本发明的实施例中通过光滑金属铜种层使用块状金属铜进行无空隙填充凹入特征的方法的剖视图。图 1A 示出了形成于衬底 100,例如硅衬底或介电材料上的凹入特征 1。介电材料可例如包含二氧化硅 (SiO₂)、低导电系数 (k) 的介电材料如氟化硅玻璃 (FSG)、含碳氧化物、聚合物、含 SiCOH 的低 k 材料、无孔低 k 材料、带孔低 k 材料、化学汽相沉积的低 k 材料、旋转涂覆电介质 (SOD) 的低 k 材料、或任意其它合适的介

电材料。图 1A 所示的结构包含凹入特征 1 中沿凹入特征 1 的“场”区域 105a、和侧壁区域 105b、及底部区域 105c。

[0029] 根据本发明的一个实施例,凹入特征 1 的纵横比(深度/宽度)大于或约等于 2:1,例如 3:1、4:1、5:1、6:1、12:1、15:1、或更大。该凹入特征的宽度约为 500nm 或更小,例如 200nm、150nm、100nm、65nm、45nm、32nm、20nm、或更低。然而,本发明的实施例不仅限于这些纵横比或特征宽度,因为也可使用其它纵横比或特征宽度。进一步地,本发明的实施例可被应用于其它形状的凹入特征。举例来说,这些其它凹入特征形状可包括“V”(凸起体)轮廓和凹角(凹入体)轮廓。

[0030] 图 1A 还示出了形成于凹入特征 1 上的屏蔽膜 102。该屏蔽膜可例如包含金属氮化物屏蔽膜 102、或金属氮化硅屏蔽膜 102。金属氮化物屏蔽膜的例子包括氮化钽(TaN)、氮化钛(TiN)、氮化钨(WN)、或它们的混合物。混合物可包括两种或更多单独的 TaN、TiN 和 WN 膜,例如 TaN/TiN 或 TaN/WN。金属氮化硅屏蔽膜的例子可包括氮化硅钽(TaSiN)、氮化硅钛(TiSiN)、氮化硅钨(WSiN)。屏蔽膜 102 的厚度可例如介于约 1nm 和约 10nm 之间、或介于约 2nm 和约 5nm 之间,例如约 4nm。该屏蔽膜 102 可以通过本领域的普通技术人员所共知的各种不同的沉积方法沉积,包括但不限于化学汽相沉积法(CVD)、脉冲式 CVD、等离子体增强 CVD(PECVD)、原子层沉积(ALD)、等离子体增强 ALD(PEALD)、或溅射方法。根据本发明的一个实施例,该屏蔽膜 102 可通过无等离子体的制程沉积,如 CVD、脉冲式 CVD、或 ALD,以避免制程过程中的可能等离子体损伤。此外,无等离子体的制程和等离子体制程比较,通常能够更好地沉积连续膜,特别适合包含高纵横比的图形衬底。

[0031] 多种含 Ta-、Ti- 和 W- 的前体可被用于沉积屏蔽膜 102。含 Ta- 前体的代表性例子包括 Ta(NMe₂)₅(五-(二甲氨基)-钽,PDMA)、Ta(NEtMe)₅(五-(甲乙氨基)-钽,PEMAT)、(^tBuN)Ta(NMe₂)₃(叔丁氨基-三-(二甲氨基)-钽,TBTDMT)、(^tBuN)Ta(NEt₂)₃(叔丁氨基-三-(二乙氨基)-钽,TBTDET)、(^tBuN)Ta(NEtMe)₃(叔丁氨基-三-(甲乙氨基)-钽,TBTMET)、(EtMe₂CN)Ta(NMe₂)₃(叔戊氨基-三-二甲氨基钽,TAIMATA)、(ⁱPrN)Ta(NEt₂)₃(异丙氨基-三-(二乙氨基)-钽,IPTDET)、Ta₂(OEt)₁₀(十-乙氧基钽,TDEAT)、(Me₂NCH₂CH₂O)Ta(OEt)₄(四-乙氧基-二甲基乙氧基氨基-钽,TATDMAE)和 TaCl₅(五氯化钽)。含 Ti- 前体的代表性例子包括 Ti(NEt₂)₄(四-(二乙氨基)-钛,TDEAT)、Ti(NMeEt)₄(四-(甲乙氨基)-钛,TEMAT)、Ti(NMe₂)₄(四-(二甲氨基)-钛,TDMAT)、Ti(THD)₃(三-(2,2,6,6-四甲基-3,5-庚酮)-钛)和 TiCl₄(四氯化钛)。含 W- 前体的代表性例子包括 W(CO)₆(六羰基钨)、WF₆(六氟化钨)和 (^tBuN)₂W(NMe₂)₂(二-(叔丁氨基)-二-(二甲氨基)-钨,BYBMW)。

[0032] 在一些实施例中,含氮气体如氨气(NH₃)或肼(N₂H₄)被用作沉积屏蔽 102 时的氮源。可被用作硅源的含硅气体的例子包括但不限于硅烷(SiH₄)、乙硅烷(Si₂H₆)、一氯硅烷(SiClH₃)、二氯硅烷(SiH₂Cl₂)、三氯硅烷(SiHCl₃)、六氯乙硅烷(Si₂Cl₆)、二乙基硅烷(Et₂SiH₄)和烃氨基硅烷混合物。烃氨基硅烷混合物的例子包括,但不限于二-异丙氨基硅烷(H₃Si(NPr₂))、二-(叔丁氨基)-硅烷((C₄H₉(H)N)₂SiH₂)、四-(二甲氨基)-硅烷(Si(NEtMe)₄)、四-(甲乙氨基)-硅烷(Si(NEt₂)₄)、四-(二乙氨基)-硅烷(HSi(NMe₂)₃)、三-(二甲氨基)-硅烷(HSi(NEtMe)₃)、三-(甲乙氨基)-硅烷(HSi(NEt₂)₃)、三-(二乙氨基)-硅烷(HSi(N(H)NMe₂)₃)、二-(二乙氨基)-硅烷(H₂Si(NEt₂)₂)、二-(二-异丙氨基)-硅烷(H₂Si(NPr₂)₂)、三-(异丙氨基)-硅烷(HSi(NPr₂)₃)和(二-异丙氨基)-硅

烷 ($\text{H}_3\text{Si}(\text{NPr}_2)$)。在本发明的实施例中,使用了下列缩略词:Me:甲基;Et:乙基;Pr:丙基; ^iPr :异丙基; ^tBu :叔丁基;Cp:环戊二烯基和 THD:2,2,6,6-四甲基-3,5-庚酮。

[0033] 图 1A 还示出了本发明实施例中沉积在屏蔽膜 102 上的含金属润湿膜 104。含金属润湿膜 104 可包含一种过渡金属,而该过渡金属可为沉积在含金属润湿膜 104 上的金属铜提供较低的接触角度。含金属润湿膜 104 可例如包含非晶体、多晶体或金属晶体钌 (Ru)、金属钯 (Pd)、金属铑 (Rh) 或金属银 (Ag) 及其混合物。在其它例子中,含金属润湿膜可包含例如这些金属和氮 (如 RuN)、氧 (如 RuO_2)、碳 (如 RuC)、硼 (如 RuB) 或磷 (如 RuP) 的化合物。含金属润湿膜 104 的厚度可以例如介于约 0.1nm 和约 5nm 之间、或介于约 0.5nm 和约 2nm 之间,例如约 1nm。该含金属润湿膜 104 可以通过本领域的普通技术人员所共知的各种不同的沉积方法沉积,包括但不限于 CVD、脉冲式 CVD、PECVD、ALD、PEALD、或溅射方法。

[0034] 在一个例子中,含金属润湿膜 104 可以为在 180℃ 的衬底温度下利用前体 $\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$ 和载气 CO 通过 CVD 制程沉积在氮化钽屏蔽膜 102 上的金属钌膜 104。金属钌膜 104 被沉积于高纵横比结构上具有非常高的连续性和厚度均匀性,而且可被退火至下述沉积中的较高温度。利用前体 $\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$ 和载气 CO 的金属钌 CVD 制程在美国专利号第 7,270,848 号中得以描述,在此将其结合入本说明书作为参照。在另一例子中,金属钌膜 104 可利用前体金属钌有机化合物通过 CVD 制程沉积。示例性的金属钌有机化合物包括 (2,4-二甲基二烯基)-(乙基环戊二烯基)-钌 ($\text{Ru}(\text{DMPD})\text{EtCp}$)、二-(2,4-二甲基二烯基)-钌 ($\text{Ru}(\text{DMPD})_2$)、(4-二甲基二烯基)-(甲基环戊二烯基)-钌 ($\text{Ru}(\text{DMPD})(\text{MeCp})$) 和二-(乙基环戊二烯基)-钌 ($\text{Ru}(\text{EtCp})_2$) 和这些和其它前体的混合物。用于沉积金属钌膜 104 的其它例子包括用固态金属钌标靶的溅射方法。

[0035] 在一个例子中,含金属润湿膜可包含润湿金属 (Ru、Pd、Rh、Ag) 的化合物。举例来说,含钌化合物可包括钌和氮、钌和氧、钌和碳、钌和硼或钌和磷。这些化合物可在 CVD 制程中通过将包含氮 (如 NH_3)、氧 (如 H_2O)、碳 (如 CO_2)、硼 (如 BH_3)、或磷 (PH_3) 的气体加入含钌的制程气体中形成。

[0036] 图 1B 示出了本发明实施例中包含沉积于含金属屏蔽膜 104 上的光滑金属铜种层 106 的凹入特征 2。该金属铜种层 106 至少在场区域 106a、侧壁区域 106b 和底部区域 106c 中没有间隙的情况下基本涂满含金属屏蔽膜 104。根据本发明的一个实施例,光滑金属铜种层 106 可连续涂满含金属屏蔽膜。

[0037] 金属铜种层 106 的厚度可例如介于约 0.1nm 和约 5nm 之间、或介于约 0.5nm 和约 2nm 之间,例如为图 1B 所述的约 1nm,场区域 106a 上的金属铜种层 106 厚度可大于侧壁区域 106b 和底部区域 106c 上的金属铜种层 106 厚度。

[0038] 根据本发明的实施例,光滑金属铜种层 106 可通过溅射方法沉积在含金属屏蔽膜 104 上,例如物理气象沉积法 (PVD) 或电离物理气象沉积法 (IPVD)。示例性的 IPVD 系统在图 5 和美国专利申请号 6,287,435 中得以图示。在金属铜沉积过程中,衬底温度维持得足够高 (如大于 0℃) 以在含金属屏蔽膜 104 上形成光滑的金属铜种层 106。根据本发明的一个实施例,衬底温度可以大于 0℃,例如约 20℃、约 30℃、或甚至更高。举例来说,衬底温度的范围可从大于 0℃到 200℃、从 10℃到 100℃、从大于 20℃到 50℃、或从 25℃到 40℃。

[0039] 作为图 1B 的比较,图 2A 示出了在 -30℃ 的衬底温度下包含通过 PVD 或 IPVD 沉积在含金属润湿膜 104 上的非连续金属铜种层的凹入特征 3。金属铜种层 108 包含沿凹入特征

103 的场区域上的金属铜种层部分 108a、凹入特征 3 的底面区域上的金属铜种层部分 108b 和凹入特征 3 的侧壁区域上的金属铜种层部分 108c。金属铜种层部分 108c 包含空隙 107，其中该含金属润湿膜 104 未被金属铜连续覆盖。

[0040] 接着参考图 1A-1C，图 1C 概要示出了图 1B 中凹入特征 2 的无空隙块状金属铜的过度填充。无空隙块状金属铜的过度填充 110 可通过在光滑金属铜种层上镀铜来实现。块状金属铜沉积法为电路制造领域的普通技术人员所共知，而且可包含例如电化学镀膜法和化学镀膜法。尽管图 1C 中未图示，但是块状金属铜的过度填充 110 通常依照化学机械抛光法 (CMP) 来使其平坦化和去除场区域 106a 中过量的金属铜和含金属润湿膜 104 及屏蔽膜 102。

[0041] 作为对比，图 2B 示出了图 2A 中凹入特征 3 的块状金属铜填充。如图 2B 所示，块状金属铜过量填充 112 包含块状金属铜过量填充 112 界面附近的有害空隙 114 和含金属润湿膜 104。正如本领域普通技术人员所共知的，块状金属铜过量填充 112 中空隙 114 的存在会增加电阻，且对含块状金属铜过量填充 112 的半导体器件产生不利影响。

[0042] 图 3A-3D 为本发明的实施例中通过光滑金属铜种层使用块状金属铜进行无空隙填充凹入特征的方法的步骤流程图。该步骤流程可被应用于具有图案的衬底和至少一个凹入特征，而该图案包括上表面，该凹入特征由至少一个侧壁表面和下表面组成。在一个例子中，该至少一个凹入特征可包含过孔、沟槽、或其结合体如双大马士革结构。

[0043] 在图 3A 中，流程 300 包括：在方框 302 中，在衬底的凹入特征中沉积屏蔽膜。该屏蔽膜可包含氮化钽、氮化钛、氮化钨、氮化硅钽、氮化硅钛、或氮化硅钨、或它们的混合物。根据一个实施例，该屏蔽膜可以基本均匀的膜厚度保形沉积在衬底图案上。然而，只要该屏蔽膜连续覆盖该衬底图案，就无需要求基本均匀的厚度。

[0044] 在方框 304 中，在该屏蔽膜上沉积含金属润湿膜。该含金属润湿膜可包含例如非晶体、多晶体或金属晶体钌 (Ru)、金属钯 (Pd)、金属铑 (Rh)、或金属银 (Ag)、或它们的混合物。在其它例子中，该含金属润湿膜可包含例如这些金属和氮、氧、碳、硼或磷的化合物。根据一个实施例，该含金属润湿膜可以基本均匀的膜厚度保形沉积在屏蔽膜上。然而，只要该含金属润湿膜连续覆盖该衬底图案，就无需要求基本均匀的厚度。根据本发明的一个实施例，该屏蔽膜和该含金属润湿膜均至少基本保形沉积于该衬底图案上。

[0045] 在一个例子中，该屏蔽膜包含氮化钽，且该含金属润湿膜包含金属钌。氮化钽可例如使用含 Ta- 前体和 NH_3 通过 CVD 沉积。在宽度约为 500nm 或更小的凹入特征中，氮化钽的厚度可例如介于约 1nm 和约 10nm 之间、或介于约 2nm 和约 5nm 之间，例如约 4nm。金属钌可在介于 150°C 和 200°C 之间，例如在 180°C 的衬底温度下利用前体 $\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$ 和载气 CO 通过 CVD 沉积。金属钌的厚度可例如介于约 0.1nm 和约 5nm 之间、或介于约 0.5nm 和约 2nm 之间，例如约 1nm。

[0046] 在方框 306 中，在含金属润湿膜上形成光滑金属铜种层。金属铜通过物理气象沉积法沉积在含金属润湿膜上。根据本发明的实施例，在金属铜沉积过程中，衬底温度维持得足够高（如大于 0°C）以在含金属屏蔽膜上形成光滑金属铜种层。根据本发明的实施例，衬底温度低于在金属铜种层中发生金属铜的实质聚集温度。根据本发明的一个实施例，衬底温度大于 0°C 或低于在含金属润湿膜上的金属铜种层中发生金属铜的实质聚集温度。

[0047] 在方框 308 中，在凹入特征中电镀无空隙块状金属铜。凹入特征中电镀的块状金

属铜的数量可足够用块状金属铜填充或过量填充该凹入特征,但是当且仅当执行该凹入特征的部分填充时,这是不做要求的。

[0048] 图 3B 为本发明另一实施例中通过光滑金属铜种层使用块状金属铜进行无空隙填充凹入特征的方法的步骤流程图。步骤流程 320 和图 3A 所示的步骤流程 300 类似,但包括:在方框 322 中,在衬底上的凹入特征中沉积一个屏蔽膜;在及方框 324 中,在该屏蔽膜上沉积一个含金属润湿膜。

[0049] 在方框 326 中,对该含金属润湿膜进行热处理。根据本发明的实施例,含金属润湿膜的热处理可包括在升高的衬底温度下使该含金属润湿膜和惰性气体、 H_2 、或惰性气体和 H_2 的混合物接触。举例来说,该混合物可包括 0.1-100% H_2 及平衡惰性气体。该惰性气体可例如在稀有气体(例如 He、Ne、Ar、Kr、Xe)和 N_2 中选择。根据本发明的实施例,该含金属润湿膜的热处理可包括加热衬底使衬底温度介于约 100°C 和约 400°C 之间、约 100°C 和约 300°C 之间、约 100°C 和约 200°C 之间,例如 150°C。应考虑该含金属润湿膜的热处理还增加了该含金属润湿膜上金属铜的润湿性而以化学方法减少或移除该含金属润湿膜上的任何氧化部分。该含金属润湿膜在该金属润湿膜沉积过程中或在随后的沉积过程中通过接触诸如水和一氧化碳等氧化气体可逐渐被氧化。

[0050] 该含金属润湿膜的一个示例性热处理包括在 3 托气压和约 150°C 的衬底温度下,接触含 5% H_2 的制程气及平衡气 N_2 约 1-30 分钟的制程时间,但本发明的实施例未被这些制程条件和其它可使用的热处理条件所限制。举例来说,气压可介于约 1 托和约 760 托之间。在本发明的一些实施例中,气压可介于约 1 托和约 10 托之间。应注意在此说明书中,术语“方框”没有约束可同时或时间部分重叠时被执行的两个步骤。举例来说,含金属润湿膜沉积和含金属润湿膜的热处理可同时或时间部分重叠时被执行。

[0051] 在方框 328 中,在含金属润湿膜上形成光滑金属铜种层,及在方框 330 中,无空隙金属铜被电镀在凹入特征中。

[0052] 图 3C 为本发明另一实施例中通过光滑金属铜种层使用块状金属铜进行无空隙填充凹入特征的方法的步骤流程图。步骤流程 340 和图 3A 所示的步骤流程 300 类似,但包括:在方框 342 中,在衬底上的凹入特征中沉积一个屏蔽膜;在及方框 344 中,在该屏蔽膜上沉积一个含金属润湿膜。

[0053] 在方框 346 中,在含金属润湿膜上形成光滑的金属铜种层。

[0054] 在方框 348 中,对该金属铜种层进行热处理。根据本发明的实施例,该金属铜种层的热处理可包括在升高的衬底温度下使该金属铜种层和惰性气体、 H_2 、或惰性气体和 H_2 的混合物接触。举例来说,该混合物可包括 0.1-100% H_2 及平衡惰性气体。该惰性气体可例如从稀有气体(例如 He、Ne、Ar、Kr、Xe)和 N_2 中选择。根据本发明的实施例,该金属铜种层的热处理可包括加热衬底使衬底温度介于约 100°C 和约 400°C 之间、约 100°C 和约 300°C 之间、约 100°C 和约 200°C 之间,例如 150°C。应考虑热处理可以化学方法减少或移除该金属铜种层上的任何氧化部分。该含金属润湿膜可在该金属铜种层沉积及/或随后的过程中逐渐被氧化。

[0055] 该金属铜种层的一个示例性热处理包括在 3 托气压和约 150°C 的衬底温度下,与含 5% H_2 的制程气及平衡气 N_2 接触 1-30 分钟的制程时间,但本发明的实施例未被这些制程条件和其它可使用的热处理条件所限制。举例来说,气压可介于约 1 托和约 760 托之间。

在本发明的一些实施例中,气压可介于约 1 托和约 10 托之间。举例来说,该金属铜种层沉积和该金属铜种层的热处理可同时或时间部分重叠时被执行。

[0056] 在方框 350 中,在凹入特征中电镀无空隙金属铜。

[0057] 图 3D 为本发明另一实施例中通过光滑金属铜种层使用块状金属铜进行无空隙填充凹入特征的方法的步骤流程图。步骤流程 360 和图 3A、3B、3C 所示的各自步骤流程 300、320、340 类似,但包括:在方框 362 中,在衬底的凹入特征中沉积一个屏蔽膜;在及方框 364 中,在该屏蔽膜上沉积一个含金属润湿膜。

[0058] 在方框 366 中,对该含金属润湿膜进行热处理。该含金属润湿膜的热处理可在存在惰性气体、 H_2 、或惰性气体和 H_2 的混合物,衬底温度介于约 100°C 和约 400°C 之间时被执行。

[0059] 在方框 368 中,在含金属润湿膜上形成光滑金属铜种层。

[0060] 在方框 370 中,对该金属铜种层进行热处理。该金属铜种层的热处理可在存在惰性气体、 H_2 、或惰性气体和 H_2 的混合物,衬底温度介于约 100°C 和约 400°C 之间时被执行。根据本发明的一个实施例,方框 366 和 370 中的热处理可利用相同的制程条件。

[0061] 在方框 372 中,在凹入特征中电镀无空隙金属铜。

[0062] 图 4A 和 4B 概要示出了本发明的实施例中通过光滑金属铜种层可充满无空隙块状金属铜的附加凹入特征的剖视图。示例性的凹入特征 1 在图 1A 中得以图示和描述,但是本发明的实施例可被应用于集成电路设计中其它类型的凹入特征。如本领域普通技术人员所理解的,包括屏蔽膜沉积、含金属润湿膜沉积、金属铜种层沉积和无空隙块状金属铜填充的本发明实施例可被轻松地应用在图 4A 和图 4B 所述的凹入特征中。

[0063] 图 4A 概要示出了本发明的一个实施例中图案结构的剖视图。所述的图案结构包含一个形成于导电层 422 上的双大马士革特征 424。双大马士革特征 424 分别包含具有侧壁表面 428a 和下表面 428b 的过孔 428,以及形成于介电材料 418 上的沟槽 426,其中沟槽 426 分别包含侧壁表面 426a 和下表面 426b。沟槽 426 可被用来将上层导电互连结构和过孔 428 通过沟槽 426 联结至导电层 422。该图案结构还包含介电层 412 和 414、包围导电层 422 的屏蔽层 420 和蚀刻阻挡层 416。

[0064] 图 4B 概要示出了本发明的另一实施例中图案结构的剖视图。该图案结构形成在衬底 400 上,且包含形成于介电膜 402 上的凹入特征 405a 和形成于该凹入特征 405a 底部的栅电极 406 上的导电层 403a。该栅电极 406 是栅结构的一部分,而该栅结构还包含栅介质膜 407。栅介质膜 407 可包含 SiO_2 、 SiO_xN_y 、 SiN_y 、或介电常数大于 SiO_2 ($k \sim 3.9$) 的高介电常数(高-k)材料、或它们的混合物。高-k材料可包含金属氧化物、金属氮氧化物、和它们的硅化物,例如 Ta_2O_5 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 Al_2O_3 、 Y_2O_3 、 HfO_xN_y 、 HfO_2 、 ZrSiO_x 、 ZrO_xN_y 、 ZrSiO_xN_y 、 TaSiO_x 、 SrO_x 、 SrSiO_x 、 LaO_x 、 LaSiO_x 、 YO_x 、 YSiO_x 、或 BaO 、或它们中两个或多个的混合物。

[0065] 此外,图 4B 中的图案结构包含形成于介电膜 402 上的凹入特征 405b 和形成于掺杂衬底区域 401(例如漏极或源区域)上的导电层 403b,而掺杂衬底区域 401 位于凹入特征 405a 底部的衬底 400 中。衬底 400 可例如为 200nmSi 晶片、 300nmSi 晶片、或更大的 Si 晶片、介电膜 402 可包含 SiO_2 、 SiON 、 SiN 或介电常数小于 SiO_2 ($k \sim 3.9$) 的低介电常数(低-k)材料。根据本发明的一个实施例,凹入特征 405a、405b 可为纵横比(深度/宽度)大于或约等于 2,例如 3、4、5、6、7、12、15、或更高的过孔。该过孔的宽度约为 200nm ,例如 150nm 、

100nm、65nm、45nm、32nm、20nm、或更低。在一个例子中，凹入特征 405a、405b 可以是纵横比约为 7、宽度为 45nm 的过孔。然而，本发明的实施例不仅限于这些纵横比和过孔宽度，如可使用其它纵横比和过孔宽度。导电层 403a、403b 可包含硅化接触层以提供薄而稳定的电接触，并可包含例如 CoSi_2 、 PtSi 、 Pd_2Si 、 TiSi_2 、 WSi_2 、 NiSi_2 、或 TaSi_2 、或它们中两种或多种的混合物。一种混合物可包含 PtNiSi ，和 NiSi_2 相比， PtNiSi 允许使用较高的制程温度。图 4A 所述的用于形成图案衬底的制程方法为本领域技术人员所共知。

[0066] 图 5 示出了本发明的实施例中用于沉积光滑铜种层的制程系统的示例性方框图。在图示的实施例中，IPVD 系统 500 被示出。IPVD 系统 500 包括 IPVD 处理模块 510；被耦合至金属铜标靶 525 的直流 (DC) 电源 505，而该金属铜标靶 525 被耦合至制程腔室 520；制程气供应系统 530；压力控制系统 540；射频 (RF) 振荡器 550；RF 偏置振荡器 555，而该 RF 偏置振荡器 555 可被耦合至被控温的衬底保持器 570 中的电极 557；被耦合至被控温的衬底保持器 570 的衬底温度控制系统 575；可被耦合至被控温的衬底保持器 570 的背侧气体供应系统 580 和连接到静电卡盘 (ESC) 控制单元 587 的 ESC 电极 585。

[0067] IPVD 系统 500 包括被耦合至制程腔室 520 的控制器 590、DC 电源 505、制程气供应系统 530、压力控制系统 540、RF 振荡器 550、RF 偏置振荡器 555、衬底保持器 570、衬底保持器温度控制系统 575、背侧气体供应系统 580 和 ESC 控制单元 587。

[0068] IPVD 制程腔室 520 包含天线 534、被耦合至天线 534 的 RF 输送窗口 531、被耦合至窗口 531 的百叶式沉积隔板 533 和被耦合至制程腔室 520 的金属铜标靶 525。RF 功率可通过 RF 振荡器 550 供应给天线 534，且通过窗口输送的 RF 功率在制程腔室 520 的等离子体区域 522 中产生电感耦合等离子体 (ICP)。根据本发明的实施例，电感耦合等离子体可被主要限制在金属铜标靶 525、窗口 531 和隔板 533 附近的等离子体区域 522 中。

[0069] 天线 534 通过 RF 匹配神经网络可以电力连接至 RF 振荡器 550。RF 振荡器 550 可选择性地使天线 534 通电和驱动。RF 振荡器 550 可提供频率介于约 100kHz 和约 100MHz 之间时随时间变化的 RF 电流，而该频率在 ICP 功率介于约 100W 和约 10000W 时被提供给天线 534。举例来说，可使用大约 13.56MHz 的工作频率。可替换地，可使用其它频率。当天线 534 通过 RF 振荡器 550 通电时，便发出各向同性的 RF 电磁场。金属的外壳或网箱被用于包围天线以约束其中发出的 RF 电磁场，确保附近人员的安全并阻止电磁场干扰周围的电子设备。

[0070] 天线 534 可被设置在腔室壁 532 中窗口 531 后面的制程腔室 520 外。百叶式沉积隔板 533，优先由开槽的金属材料构成，被设置在接近窗口 531 的制程腔室 520 内以在沉积过程中关闭窗口。控制器 590 可用于决定 ICP 功率的大小以提供和施加在天线 534 上的功率。

[0071] IPVD 系统 500 包含被控温的衬底保持器 570，而该衬底保持器 570 包含 ESC 电极 585，并且通过 Z-运动驱动器 572 可被耦合至制程腔室 520。Z-运动驱动器 572 可用于调整衬底-标靶间距（空隙）以提供最好的沉积均匀度。控制器 590 可用于在金属铜沉积过程中调整需求的衬底-标靶间距，并且在有需要时将控制数据提供给 Z-运动驱动器 572。在金属铜沉积过程中，衬底-标靶间距通常在 550 ~ 300mm 之间。

[0072] 衬底保持器 570 可容纳 200mm 的衬底、300mm 的衬底或更大的衬底。举例来说，衬底 511 可通过由栅阀配件（未示出）控制的开孔（未示出）被移进或移出制程腔室 520。此外，衬底 511 可通过自动的衬底转移系统被转移在衬底保持器 570 上和离开衬底保持器

570。此外,衬底 511 可由被安置在衬底保持器 570 中的衬底升降销(未示出)接受,而且被其中安置的器件机械地转移。一旦衬底 511 从转移系统中被接受,它便为了制程而降低至衬底保持器 570 的上表面。

[0073] 在制程过程中,衬底 511 可通过 ESC 电极 585 被保持在衬底保持器 570 顶部的位置上。可替换地,可使用其它加紧装置。

[0074] 此外,当衬底位于被控温的衬底保持器 570 上时,衬底温度可被控制。被控温的衬底保持器 570 可包括可被耦合至温度控制系统 575 的加热设备 576 和冷却设备 577。加热设备 575 和冷却设备 577 可沿一个或多个背侧气体使用以确立必需的衬底温度。控制器 590 可被用来决定和控制衬底温度。举例来说,冷却设备 577 可包括衬底保持器 570 中的流体通道(未示出)和适当的温度控制。举例来说,在等离子体制程期间,衬底 511 中产生的热量可通过衬底保持器 570 有效地散出而保持衬底 511 以基本恒定的温度,或热量可用以增加衬底温度。衬底温度可通过随温度而改变的被控温衬底保持器 570 而被控制在约 -50°C 和约 200°C 之间。

[0075] 气体通道(未示出)可用来引导衬底保持器 570 顶部和衬底 511 表面之间的背侧(热量转移)气体诸如氦气和氩气。举例来说,可使用双区域系统以确立中心部分和边缘部分的不同且独立的背侧气压值从而提供衬底保持器 570 和衬底 511 的不同部分之间的不同导热系数。

[0076] 一个或多个温度传感器 589 被设置在衬底保持器 570 上或内的一个或多个位置处,且可被耦合至可转换温度传感器 589 中信号的控制器 590 以提供衬底保持器 570 不同部分的温度指示。衬底保持器 570 的温度可用于决定衬底 511 的温度,而且控制器 590 可将反馈信息提供给温度控制系统 575 和用于调节衬底 511 温度的背侧气体供应系统 580。

[0077] 根据本发明的一个实施例,衬底 511 和衬底保持器 570 可以接地。根据本发明的另外一个实施例,RF 偏置功率可通过 RF 偏置振荡器 555 提供给衬底保持器 570 中的电极 557,而且可被用于提供衬底偏置。控制器 590 可用于决定需要提供的 RF 偏置功率的大小以及何时将该再现信号 RF 偏置功率施加至衬底保持器 570。举例来说,在金属铜沉积过程中,RF 偏置功率可被开启至适当程度以控制衬底 511 上的偏置而提高和影响制程。

[0078] RF 偏置振荡器 555 的工作频率范围可介于 1MHz 和 100MHz 之间。RF 偏置振荡器 555 可用于有选择地朝向衬底 511 施加而主动加快带电等离子体部件的偏置电势。由 RF 偏置振荡器 555 提供的偏置电势基本上决定从等离子体中被吸引至衬底的正离子的动能。RF 偏置振荡器 555 可例如在约 13.56MHz 的频率下,和在约 100W 和 1000W 的功率下工作。可替换地,可使用其它频率,如 2MHz 或 27MHz。

[0079] 制程气体可通过制程气体供应系统 530 被提供给制程腔室 520。制程气体可包含惰性气体,如氩气,或任何其它惰性气体或与制程气体可共存的非惰性气体。氩气可通过气体管路 528 被导入制程腔室 520。可替换地,可使用其它构造经氩气导入制程腔室 520。如图 5 所概要示出的,氩气被导入邻近金属铜标靶 525 的制程腔室 520 中。

[0080] 腔室气压可通过气压控制系统 540 控制。气压控制系统 540 可例如包含真空管(未示出)和节气门(未示出)。腔室气压可被气压控制系统 540 维持在较低的气压,例如 100m 托以下。控制器 590 可用于控制气压控制系统 540,及 / 或制程气体供应系统 530,及因此控制强制腔室气压。

[0081] DV 电源 505 可将 DC 功率供应给金属铜标靶 525。控制器 590 可用于决定要提供的和在作用在标靶上的 DC 功率的大小。举例来说,DC 功率的范围可在 1,000W 和 10,000W 之间,及可约为 2,000W。

[0082] 控制器 590 可被构造为将控制数据提供给系统部件和接受系统部件中的制程及/或状态数据。此外,控制器 590 可被耦合至另一控制系统(未示出),而且可与其它控制系统互换信息。举例来说,控制器 590 可由微处理器、存储器(例如,挥发性或非挥发性存储器)和能够产生足够通讯的控制电压的数字化 I/O 接口和 IPVD 系统 500 的主动输入,及 IPVD 系统 500 的测控输出。此外,控制器 590 可与其它系统部件互换信息,而且存贮在存储器中的程序可根据制程方法用于控制 IPVD 系统 500 的上述部件。此外,控制器 590 可被构造为分析制程及/或状态数据,以比较该制程及/或状态数据和想得到的制程及/或状态数据,并利用比较而改变制程及/或控制系统部件。此外,控制器 590 可被构造为分析制程及/或状态数据,以比较该制程及/或状态数据和历史的制程及/或状态数据,并且利用比较以预测、阻止及/或宣布故障。

[0083] 图 5 还示出了被耦合至制程腔室 520 的磁体设备 535。该磁体设备 535 用于决定制程腔室 520 中等离子体区域中等离子体的形状。具有最小化和可控磁场的系统例子在美国专利申请公开号 20040188239 中得以描述,而该专利申请被整体包含于本说明书中而作为参考。如图 5 所示,磁体设备 535 可被设置在金属铜 525 后,而且可用于制造及/或改变制程腔室 520 中等离子体区域中静磁场的形状。在一个实施例中,金属铜沉积过程可通过具有弱磁场强度的磁体设备 535 而被执行。磁体中的场线可伸入处理室中。在可替换的实施例中,可强迫改变腔室中存在的这些和其它场线而加快金属铜沉积过程。举例来说,通过物理地移动及/或旋转磁体可控制磁体构造而改变磁场。此外,可用电磁体或电磁体部件而改变磁场。此外,可用局部静态磁场而优化标靶的性能。一些 IPVD 的磁盘组构造可通常在大于 150 高斯或数百个高斯的标靶表面上产生静态磁场强度,以提供对等离子体的约束、理想的腐蚀轮廓和高标靶利用率。将标靶表面处的静态磁场强度降低约 5-10 高斯可消除这种约束效应。根据本发明的一些实施例,IPVD 系统 500 中的磁体设备 535 可被忽略。

[0084] 在各种实施例中,可测量一个或多个制程参数并将其与想得到的制程参数对比以控制 IPVD 系统 500 中一个或多个部件的操作。被测量的性能可用来改变一个或多个制程参数,如 DC 开启时间、成形等离子体制程时间、DC 关闭时间、DC 功率、ICP 功率、背侧气压、衬底保持器温度、衬底温度、制程气体流量、制程腔室气压和金属铜沉积比率。

[0085] 应该理解:图 5 所描绘的 IPVD 系统仅仅为了示例性目的,如具体硬件的许多更换可用于实现本发明的实施例可在其中被实践的等离子体制程系统,而且这些更换对于本领域普通技术人员是特别明显的。可替换地,等离子制程系统的其它类型可用于保形沉积金属铜种层。在一个例子中,在电容耦合等离子体(CCP)系统中,金属铜标靶形成上电极,以及其上设置衬底的衬底保持器形成下电极。

[0086] 在各种实施例中,公示了一种用于控制衬底上的铜聚集和用于在凹入特征上沉积光滑金属铜种层和使用无空隙块状金属铜填充该凹入特征的方法。本发明实施例的以上描述出于图示和描述的目的而被介绍。这并不意为是全面的或将本发明限制为所公示的具体构成。该描述和下面的权利要求书并不理解为限制,而该权利要求书包括仅被用作描述目的的术语。举例来说,如本文(包括权利要求书)使用的术语“上”并不要求衬底“上”的

膜直接在其上和直接接触衬底 ;膜和衬底之间可有第二膜或其它结构。

[0087] 相关领域的技术人员可以理解,鉴于上面的教导,许多修改和更换是可行的。本领域技术人员可构思出图中所示的各种部件的各种等同结合和替换物。因此本发明的范围并不意在受到具体描述的限制,而是仅由所附权利要求界定。

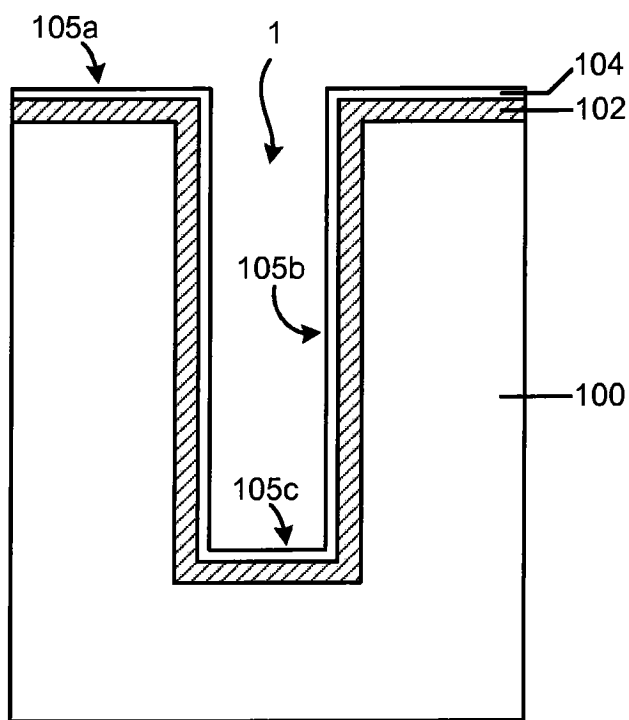


图 1A

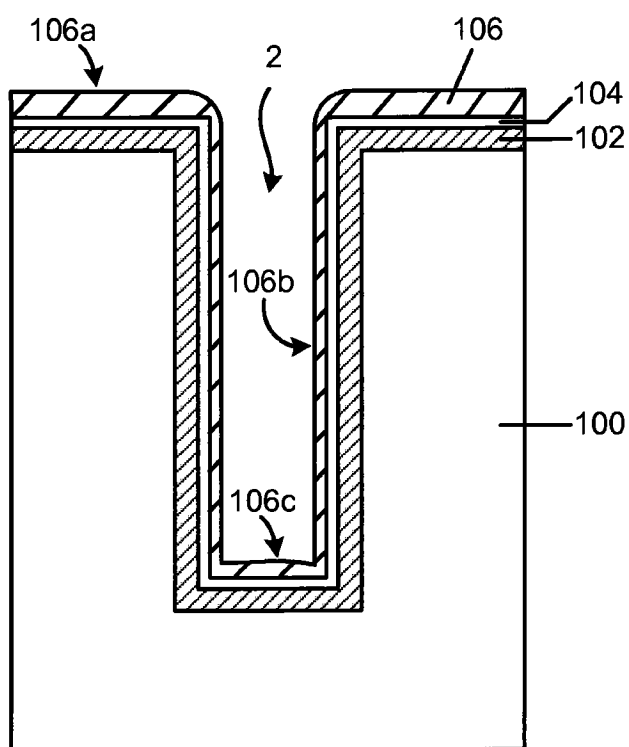


图 1B

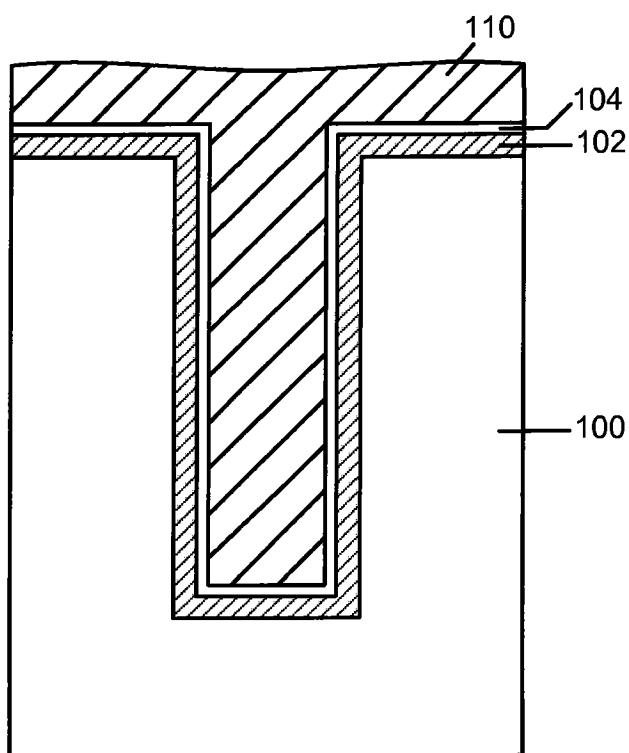


图 1C

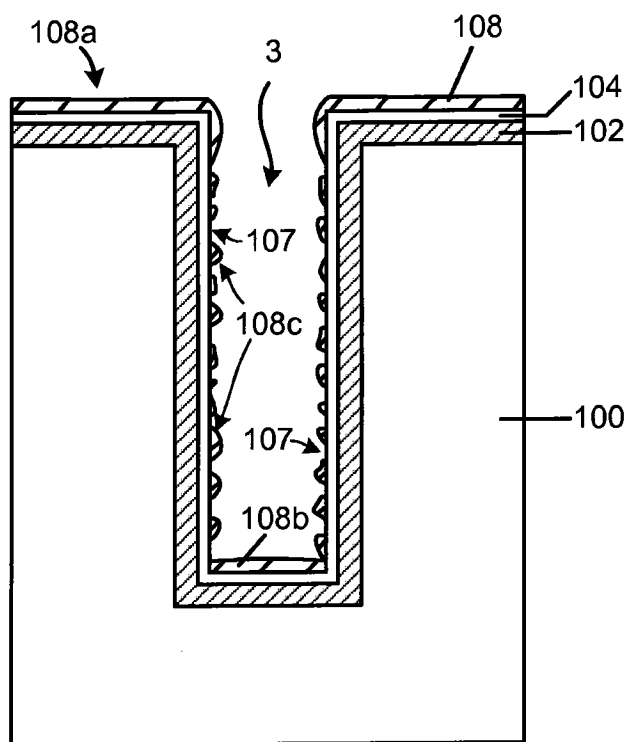


图 2A

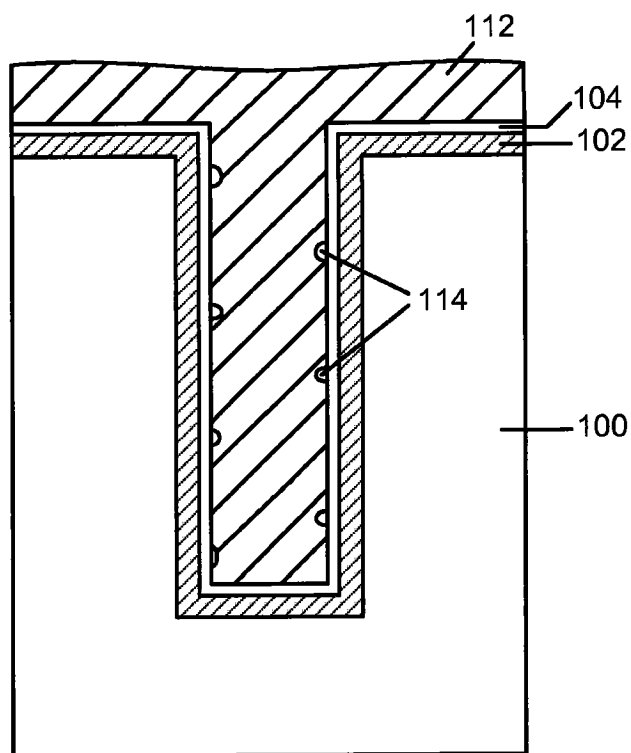


图 2B

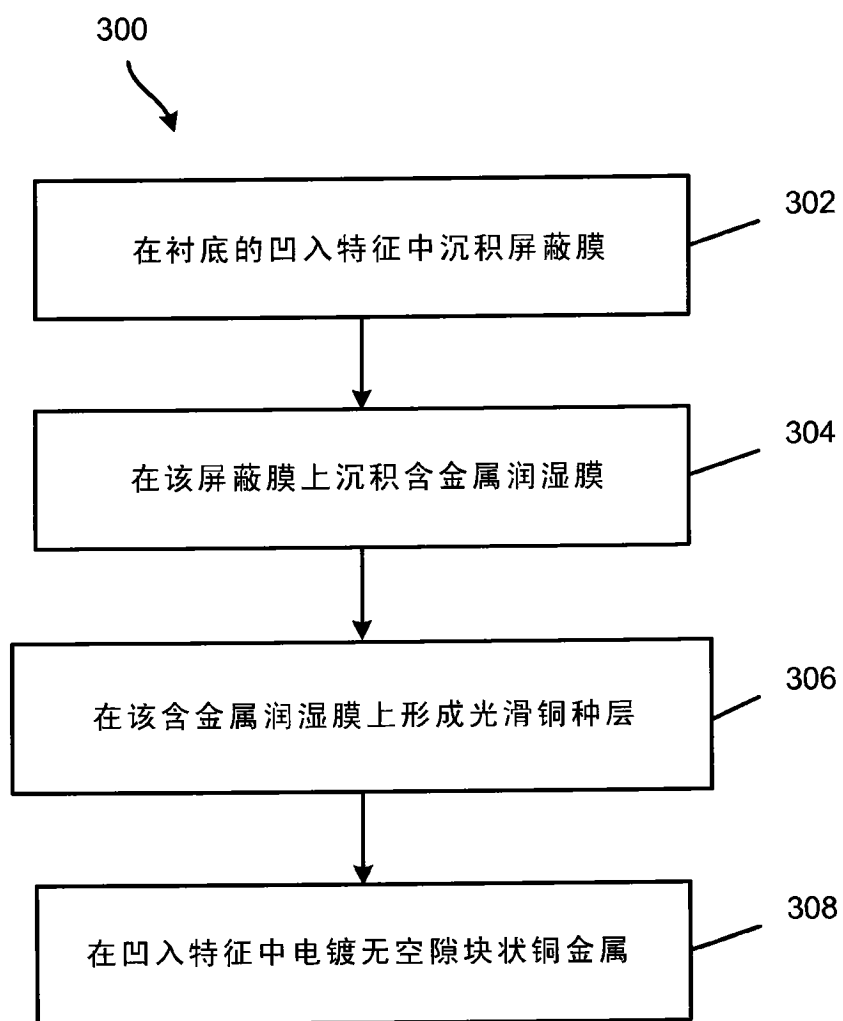


图 3A

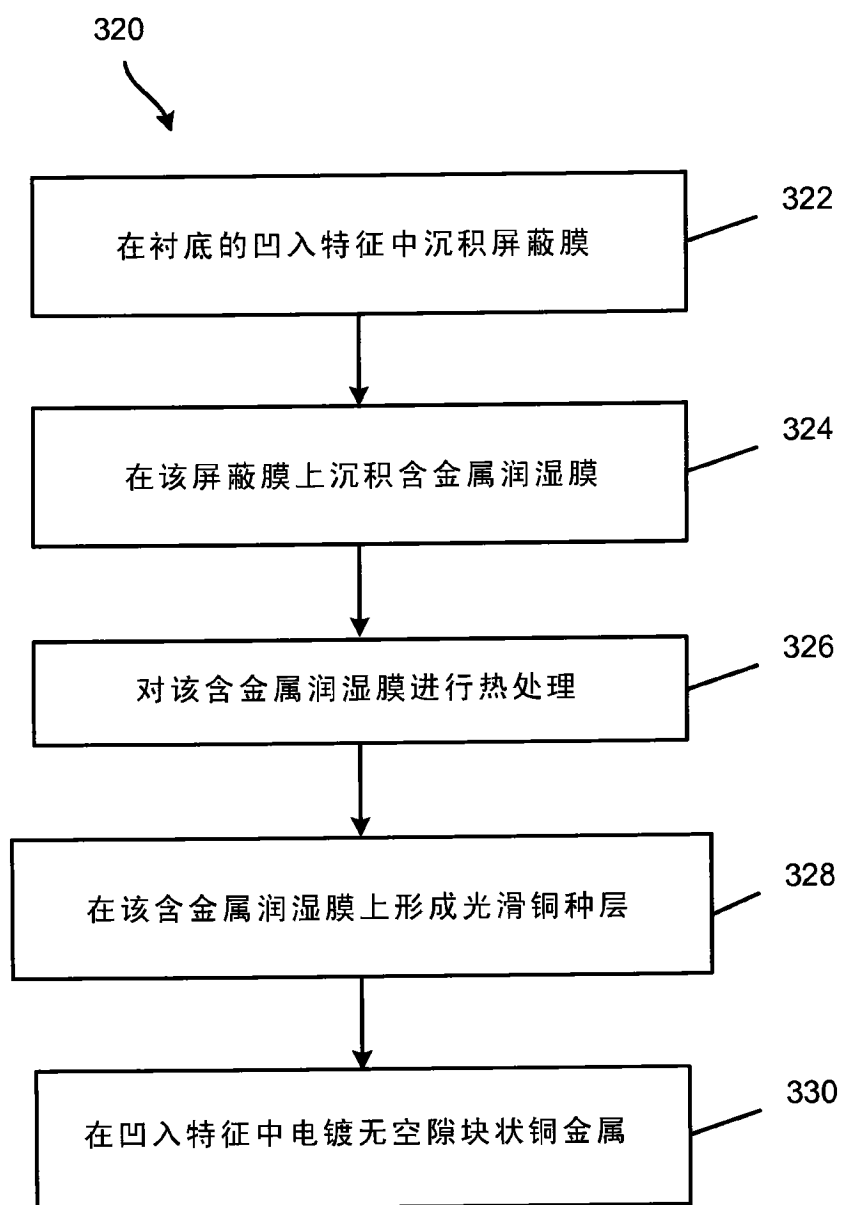


图 3B

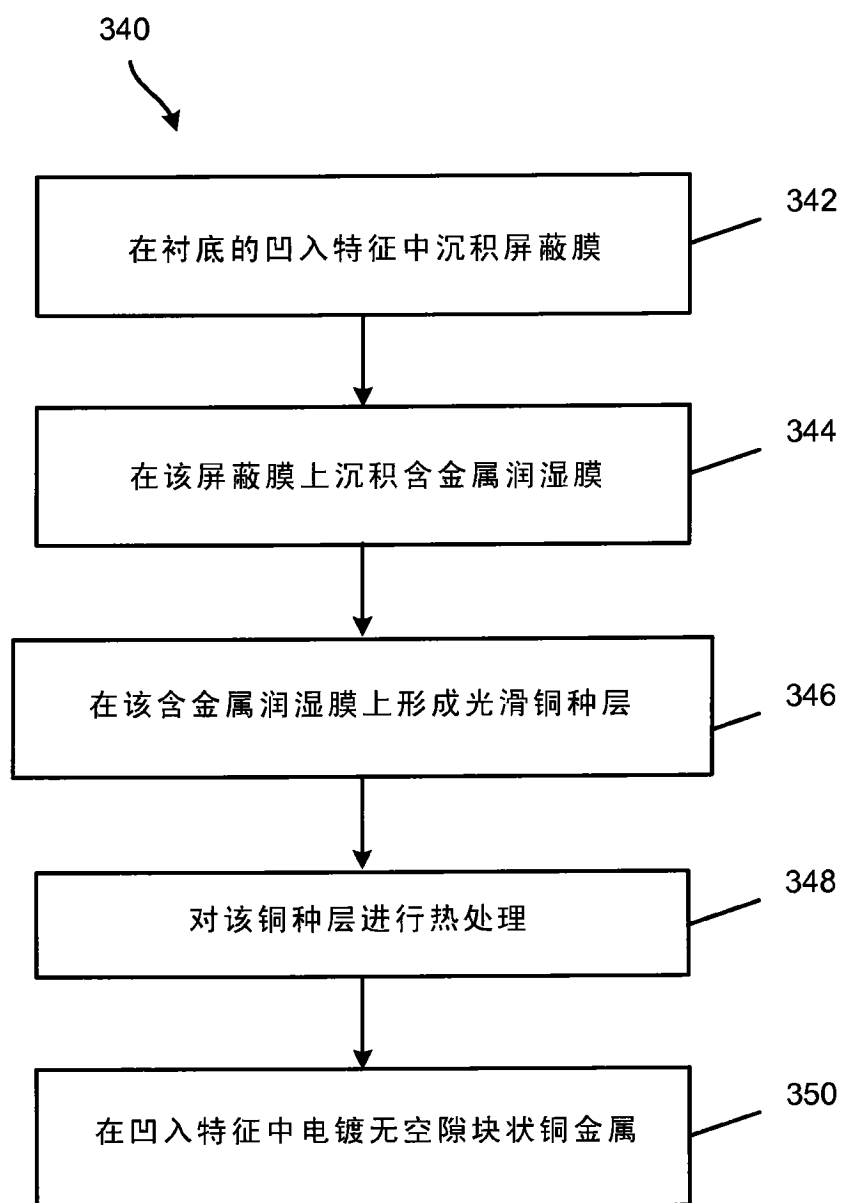


图 3C

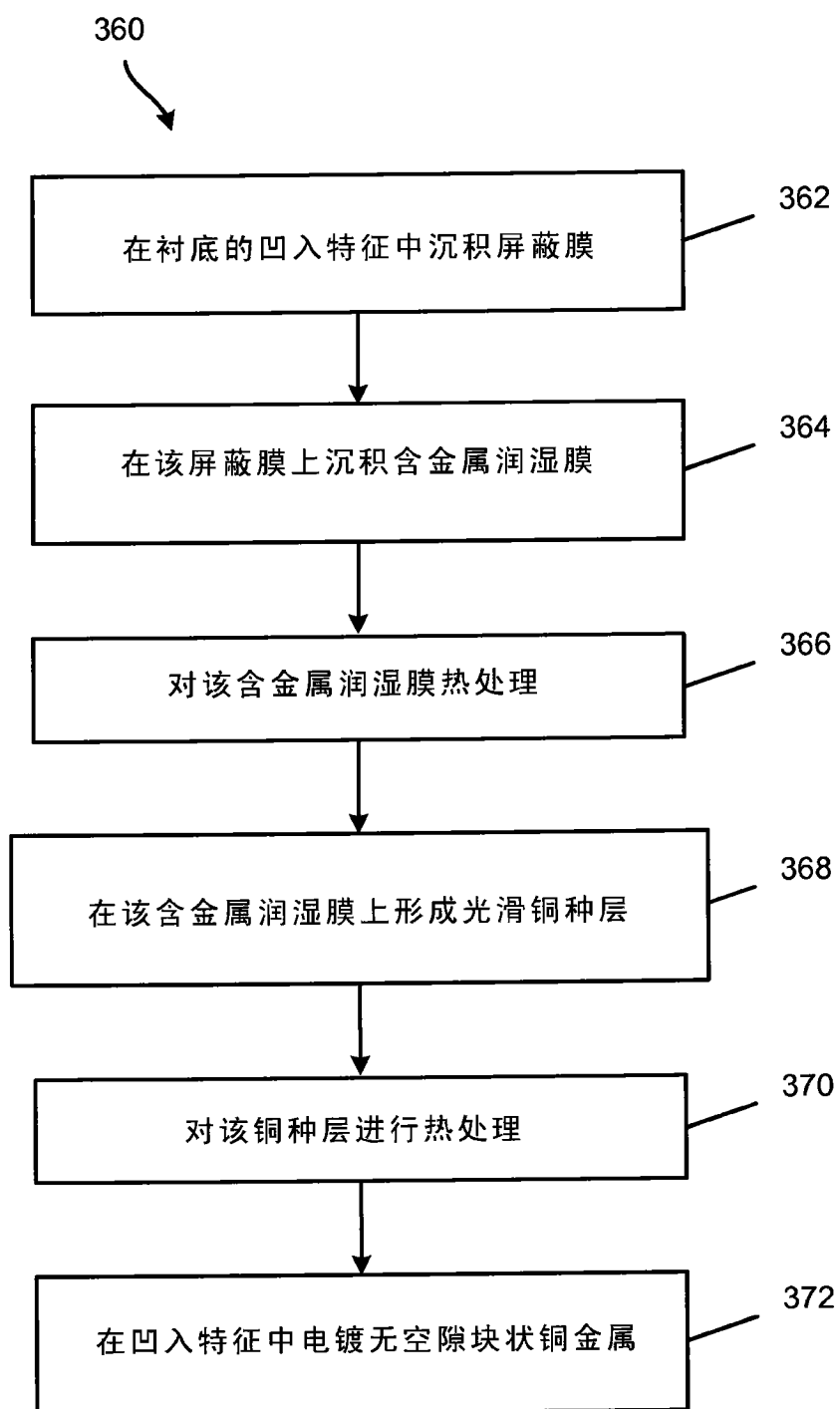


图 3D

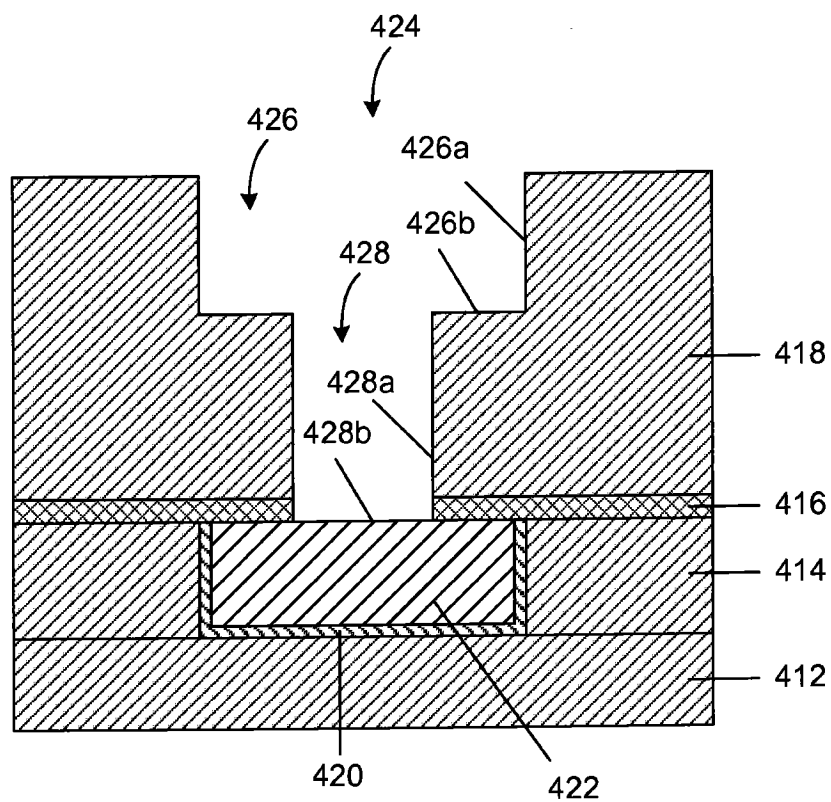


图 4A

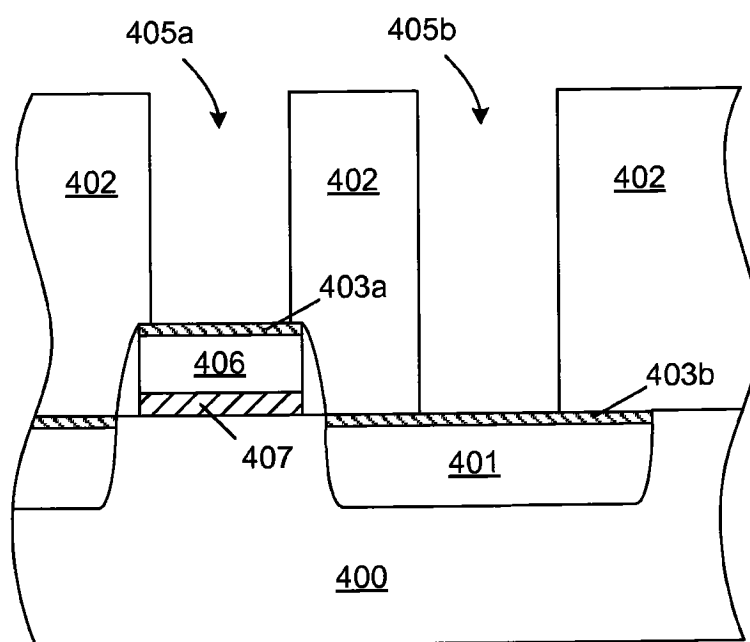


图 4B

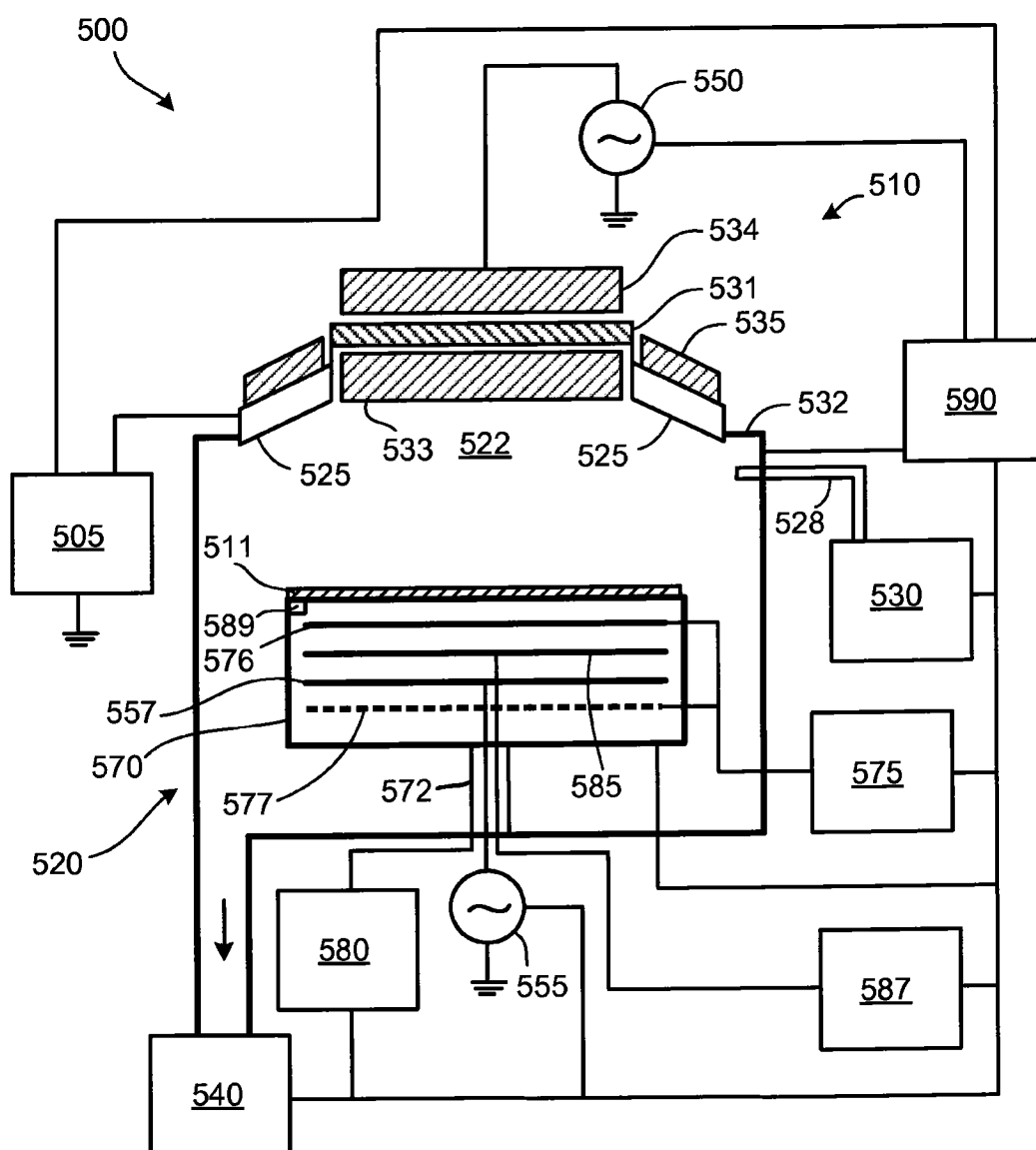


图 5

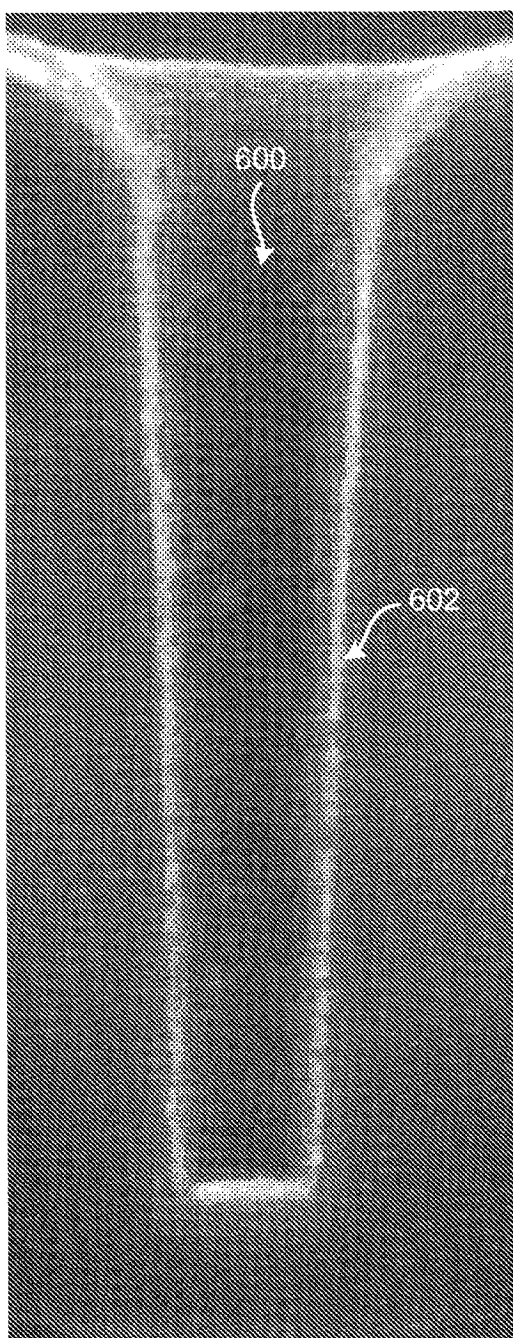


图 6A

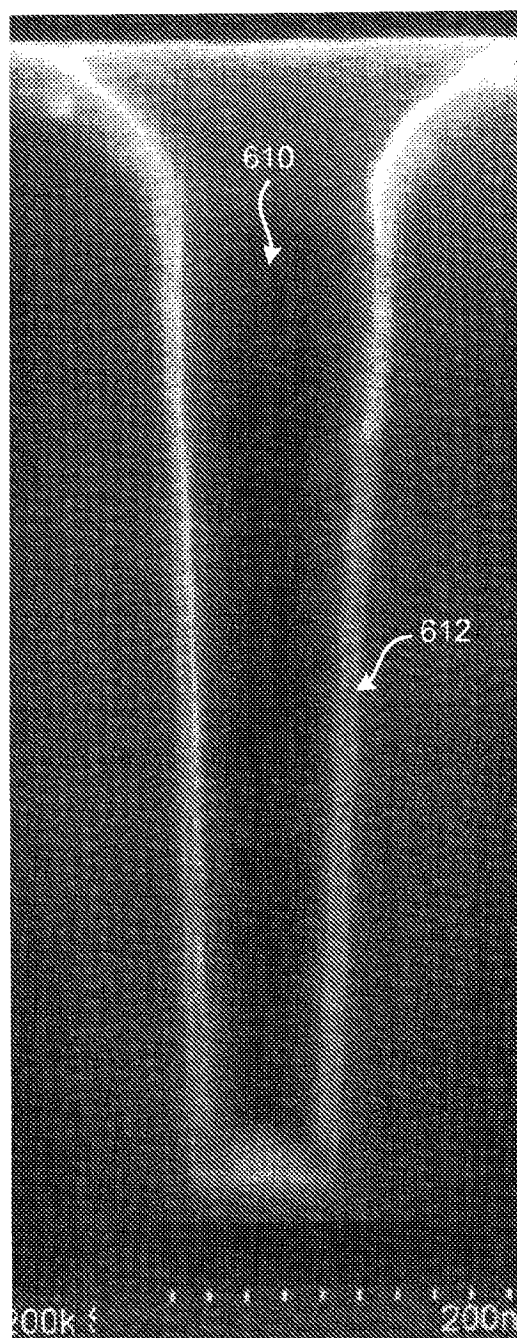


图 6B