



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104037080 B

(45)授权公告日 2019.01.29

(21)申请号 201410080405.0

(22)申请日 2014.03.06

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104037080 A

(43)申请公布日 2014.09.10

(30)优先权数据

13/787,499 2013.03.06 US

14/020,339 2013.09.06 US

14/086,770 2013.11.21 US

(73)专利权人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 泰伊·A·斯柏林

乔治·安德鲁·安东内利

娜塔莉亚·V·杜比纳

詹姆斯·E·邓肯

乔纳森·D·里德 大卫·波特

达西·E·郎伯

杜尔迦拉克什米·辛格尔

史蒂芬·劳 马歇尔·斯托厄尔

(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.

H01L 21/321(2006.01)

审查员 周辉辉

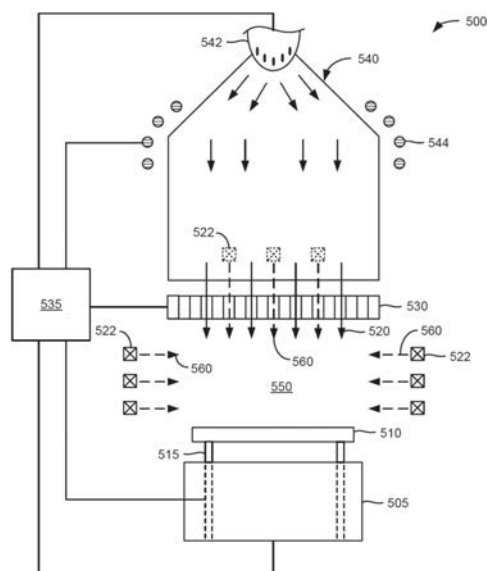
权利要求书2页 说明书22页 附图16页

(54)发明名称

用于还原金属晶种层上的金属氧化物的方法及装置

(57)摘要

本发明公开用于还原金属晶种层上的金属氧化物的方法及装置,具体公开用于还原金属氧化物表面以改性金属表面的方法及设备。通过使金属氧化物表面暴露于远程等离子体,衬底上的金属氧化物表面可以被还原成纯金属和回流的金属。远程等离子体设备在单独独立的设备中不仅可以处理金属氧化物表面,而且可以冷却、装载/卸载并移动衬底。远程等离子体设备包括处理室和控制器,所述控制器被配置为:在处理室中提供具有金属晶种层的衬底;形成还原性气体物质的远程等离子体,其中远程等离子体包括来自还原性气体物质的自由基、离子和/或紫外线(UV)辐射;并且使衬底的金属晶种层暴露于远程等离子体以使金属晶种层的氧化物还原成金属并且使金属回流。



1. 一种制备具有金属晶种层的衬底的方法,所述方法包括:

在处理室中提供衬底,在所述衬底电镀表面上具有所述金属晶种层,其中所述金属晶种层的一部分已经转化成所述金属的氧化物;

在远程等离子体源中形成还原性气体物质的远程等离子体,其中所述远程等离子体包括来自所述还原性气体物质的自由基、离子以及紫外线 (UV) 辐射中的一种或多种;并且

使所述衬底的所述金属晶种层暴露于所述远程等离子体,其中暴露于所述远程等离子体使所述金属的所述氧化物还原成与所述金属晶种层结合在一起的薄膜形式的所述金属,

在暴露于所述远程等离子体完成之后使用主动冷却系统冷却所述衬底,其中冷却所述衬底包括使用来自一或多个冷却气体入口的冷却气体冷却衬底以及使用支撑衬底的主动冷却基座冷却衬底中的一者或两者。

2. 如权利要求1所述的方法,其中所述金属晶种层包括铜、钴、钕、钐、铈、铟、镍、金、银、铝和钨中的至少一种。

3. 如权利要求1所述的方法,其中所述衬底冷却到100℃以下的温度。

4. 如权利要求1所述的方法,其中所述衬底冷却到室温以下,其中所述冷却气体的温度在-270℃和30℃之间。

5. 如权利要求1所述的方法,其中所述金属晶种层的厚度小于100Å。

6. 如权利要求1所述的方法,其中所述衬底包括高度与宽度的高宽比大于5:1的通路。

7. 如权利要求1所述的方法,其中所述还原性气体物质包括氢气、氨气、一氧化碳、乙硼烷、亚硫酸盐化合物、碳和/或烃类、亚磷酸盐和联氨中的至少一种。

8. 如权利要求1至7中的任一项所述的方法,其进一步包括:

将位于处理室内衬底上方的喷头的温度维持在30℃以下;以及

朝向喷头移动衬底以在暴露于远程等离子体完成之后进一步冷却衬底。

9. 如权利要求1至7中的任一项所述的方法,其中使所述金属晶种层暴露于所述远程等离子体包括使所述金属晶种层中的所述金属回流。

10. 如权利要求1至7中的任一项所述的方法,进一步包括:

使所述还原性气体物质暴露于来自紫外源的紫外线辐射以形成所述还原性气体物质的自由基。

11. 如权利要求1至7中的任一项所述的方法,进一步包括:

将所述衬底转移到包括电镀溶液的电镀槽中;并且

使用所述电镀溶液将金属电镀到所述金属晶种层上。

12. 一种用于准备具有金属晶种层的衬底的设备,所述设备包括:

处理室;

在所述处理室中用于支撑具有金属晶种层的衬底的基座;

所述处理室上方的远程等离子体源;以及

具有用于执行以下操作的指令的控制器:

(a) 在处理室中提供衬底,在所述衬底的电镀表面上具有所述金属晶种层,其中所述金属晶种层的一部分已经转化成所述金属的氧化物;

(b) 在所述远程等离子体源中形成还原性气体物质的远程等离子体,其中所述远程等离子体包括来自所述还原性气体物质的自由基、离子以及紫外线 (UV) 辐射中的一种或多

种;并且

(c) 使所述衬底的所述金属晶种层暴露于所述远程等离子体,其中暴露于所述远程等离子体使所述金属的所述氧化物还原成与所述金属晶种层结合在一起的薄膜形式的所述金属,

(d) 在暴露于所述远程等离子体完成之后,使用主动冷却系统冷却所述衬底,其中冷却所述衬底包括使用来自一或多个冷却气体入口的冷却气体冷却衬底以及使用支撑衬底的主动冷却基座冷却衬底中的一者或两者。

13. 如权利要求12所述的设备,其中所述金属晶种层包括铜、钴、钨、钼、铈、铟、钇、镍、金、银、铝和钨中的至少一种。

14. 如权利要求12所述的设备,其中冷却所述衬底包括将所述衬底冷却到室温以下,其中所述冷却气体的温度在-270℃和30℃之间。

15. 如权利要求12所述的设备,其中所述还原性气体物质包括氢气、氨气、一氧化碳、乙硼烷、亚硫酸盐化合物、碳和/或烃类、亚磷酸盐和联氨中的至少一种。

16. 如权利要求12所述的设备,其中冷却所述衬底包括使用来自一或多个冷却气体入口的冷却气体冷却衬底,其中所述控制器进一步包括用于在暴露于所述远程等离子体完成之后朝着所述一或多个冷却气体入口移动所述衬底的指令。

17. 如权利要求12所述的设备,其进一步包括:

紫外源,其中所述控制器进一步包括用于使所述还原性气体物质暴露于来自所述紫外源的紫外线辐射以形成所述还原性气体物质的自由基的指令。

18. 如权利要求12至17中的任一项所述的设备,其中所述控制器进一步包括用于执行以下操作的指令:

将所述衬底转移到包括电镀溶液的电镀槽中;并且

使用所述电镀溶液将金属电镀到所述金属晶种层上。

19. 如权利要求12至17中的任一项所述的设备,其进一步包括:

所述远程等离子体源与所述衬底支撑之间的喷头。

20. 如权利要求19所述的设备,其中所述控制器进一步包括用于在操作(b)至(c)期间加热所述基座到处理温度的指令,其中所述处理温度是在0℃与400℃之间。

21. 如权利要求19所述的设备,其中所述控制器进一步包括用于维持所述喷头的温度在30℃以下的指令。

22. 如权利要求21所述的设备,其中所述喷头包括多个孔,所述喷头中的孔的数量在100个与900个孔之间。

23. 如权利要求21所述的设备,其中所述喷头包括多个孔,所述孔的平均直径在0.05英寸与0.5英寸之间。

24. 如权利要求21所述的设备,其进一步包括:

在所述处理室中的一个或多个活动构件,其被配置为使所述衬底移动到所述喷头与所述基座之间的位置,其中所述控制器进一步包括用于使所述衬底经由所述一或多个活动构件朝着所述喷头移动以在暴露于所述远程等离子体完成之后进一步冷却所述衬底的指令。

25. 如权利要求12至17中的任一项所述的设备,其中所述设备是电镀或无电镀系统的一部分。

用于还原金属晶种层上的金属氧化物的方法及装置

[0001] 相关专利申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2013年11月21日提交的、题为“用于还原金属晶种层上的金属氧化物的远程等离子体处理方法及装置”的美国专利申请No.14/086,770的优先权益,该专利申请是2013年9月6日提交的、题为“用于还原金属晶种层上的金属氧化物的远程等离子体处理方法及装置”的美国专利申请No.14/020,339的部分继续申请,并且是2013年3月6日提交的、题为“使用气体还原环境来还原金属氧化物表面成改性金属表面的方法”的美国专利申请No.13/787,499的部分继续申请,所有这些申请为了所有的目的并且通过引用的方式并入本申请中。

技术领域

[0003] 本发明总体上涉及还原金属晶种层上的金属氧化物表面。本发明的某些方面属于使用远程等离子体设备来还原金属晶种层上的金属氧化物表面。

背景技术

[0004] 在集成电路(ICs)中形成金属丝互连线可以通过使用嵌入式或双嵌入式工艺来实现。通常,在位于衬底上的电介质材料(例如,二氧化硅)中蚀刻沟槽或孔。这些孔或沟槽可以镶有一个或多个粘附和/或扩散阻挡层。然后,可以在孔或沟槽中沉积薄金属层,该薄金属层可以充当电镀材料的晶种层。此后,孔或沟槽可以充满电镀金属。

[0005] 通常,晶种金属是铜。然而,也可以使用其他金属,例如,钎、钯、铟、铈、钕、钴、镍、金、银和铝,或这些金属的合金。

[0006] 为了实现高性能的集成电路,集成电路的许多特征是使用更小特征尺寸和更高密度的元件制造的。在一些嵌入式处理中,例如,2X-nm节点特征上的铜晶种层可以薄至50Å或薄于50Å。在一些实施方式中,可以应用1X-nm节点特征上的金属晶种层,这些金属晶种层可以包括或不包括铜。在生产金属晶种层以及基本上不含孔洞或缺陷的金属互连线过程中出现了更小特征尺寸的技术挑战。

发明内容

[0007] 本发明属于一种制备具有金属晶种层的衬底的方法。所述方法包括在处理室中提供衬底,在所述衬底的电镀表面上具有所述金属晶种层,其中所述金属晶种层的一部分已经转化成所述金属的氧化物。所述方法进一步包括在所述远程等离子体源中形成还原性气体物质的远程等离子体,其中所述远程等离子体包括来自所述还原性气体物质的自由基、离子以及紫外线(UV)辐射中的一种或多种。所述方法进一步包括使所述衬底的所述金属晶种层暴露于所述远程等离子体,其中暴露于所述远程等离子体使所述金属的所述氧化物还原成与所述金属晶种层结合在一起的薄膜形式的所述金属。

[0008] 在一些实施例中,所述金属晶种层包括铜、钴、钎、钯、铈、铟、钕、镍、金、银、铝和钨的至少一种。在一些实施例中,衬底维持在使金属晶种层在暴露于远程等离子体期间产生

附聚的温度以下的温度。在一些实施例中,所述还原性气体物质包括氢气、氨气、一氧化碳、乙硼烷、亚硫酸盐化合物、碳和/或烃类、亚磷酸盐和联氨的至少一种。在一些实施例中,所述方法进一步包括:将衬底转移到包含电镀溶液的电镀槽中,并且使用电镀溶液在金属晶种层上电镀金属。

[0009] 本发明还属于一种制备具有金属晶种层的衬底的设备。所述设备包括处理室以及处理室上方的远程等离子体源。所述设备进一步包括控制器,所述控制器具有用于执行以下操作的指令:在处理室内提供衬底,在该衬底的电镀表面上具有金属晶种层,其中金属晶种层的一部分已经转化成金属的氧化物;在远程等离子体源中形成还原性气体物质的远程等离子体,其中远程等离子体包括来自还原性气体物质的自由基、离子和紫外线(UV)辐射中的一种或多种;并且将衬底的金属晶种层暴露于远程等离子体,其中暴露于远程等离子体使金属的氧化物还原成与金属晶种层结合在一起的薄膜形式的金属。

[0010] 在一些实施例中,所述控制器进一步包括用于维持所述衬底在使所述金属晶种层在暴露于所述远程等离子体期间产生附聚的温度以下的温度的指令。在一些实施例中,所述控制器进一步包括用于在所述衬底的所述金属晶种层暴露于所述远程等离子体之后使所述衬底暴露于冷却气体的指令。在一些实施例中,所述设备进一步包括用于在处理室内保持衬底的衬底支撑以及在远程等离子体源与衬底支撑之间的喷头。所述控制器进一步包括用于在形成远程等离子体期间以及在使衬底的金属晶种层暴露于远程等离子体期间加热衬底支撑到约0℃与约400℃之间的处理温度的指令。所述设备进一步包括在所述处理室中的一个或多个活动构件,所述一个或多个活动构件被配置为使所述衬底移动到所述喷头与所述衬底支撑之间的位置,其中所述控制器进一步包括用于在所述衬底的所述金属晶种层暴露于所述远程等离子体之前通过所述一个或多个活动构件使所述衬底朝着所述衬底支撑移动的指令。在一些实施例中,所述设备是电镀或无电镀系统的一部分。

附图说明

[0011] 图1A示出了在嵌入式工艺中电介质层在通孔蚀刻之前的剖视示意图的实例。

[0012] 图1B示出了在嵌入式工艺中电介质层在进行通孔蚀刻之后的图1A中的剖面示意图的实例。

[0013] 图1C示出了在嵌入式工艺中图1A和图1B的电介质层在蚀刻区域填满金属之后的剖视示意图的实例。

[0014] 图2示出了在衬底上电镀铜的方法的示例性流程图。

[0015] 图3示出了还原金属晶种层上的金属氧化物的方法的示例性流程图。

[0016] 图4A示出了被氧化的金属晶种层的剖视示意图的实例。

[0017] 图4B示出了金属晶种层由于去除了金属氧化物而具有孔洞的剖视示意图的实例。

[0018] 图4C示出了金属晶种层的剖视示意图的实例,还原的金属氧化物形成不与金属晶种层结合在一起的反应产物。

[0019] 图4D示出了金属晶种层的剖视示意图的实例,还原的金属氧化物形成与金属晶种层结合在一起的薄膜。

[0020] 图5示出了具有处理室的远程等离子体设备的剖视示意图的实例。

[0021] 图6A示出了处理具有金属晶种层的衬底的方法的示意性流程图。

- [0022] 图6B示出了处理具有金属晶种层的衬底的另一种方法的示意性流程图。
- [0023] 图7A至图7D示出了使用远程等离子体设备处理具有金属晶种层的衬底的多个阶段的剖视示意图的实例。
- [0024] 图8A示出了电镀装置的俯视示意图的实例。
- [0025] 图8B示出了具有电镀装置的远程等离子体设备的放大的俯视示意图的实例。
- [0026] 图8C示出了连接到电镀装置上的远程等离子体设备的三维透视图的实例。
- [0027] 图9示出了暴露于远程等离子体的效果以及铜的电导率增加的条形图。
- [0028] 图10示出了使用远程等离子体进行处理以及未使用远程等离子体进行处理的晶种沟槽试样块的扫描电镜(SEM)图。
- [0029] 图11示出了在还原处理之后暴露于环境条件的金属晶种层上金属氧化物生长的曲线图。
- [0030] 图12示出了在还原处理之后在环境条件中暴露不同的持续时间并且随后不进行还原处理时的晶种沟槽试样块的电镜图。
- [0031] 图13示出了在处理室的不同条件下温度冷却曲线随时间变化的曲线图。
- [0032] 图14示出了金属晶种层在远程等离子体处理之后的温度和表面粗糙度的效果的条形图。
- [0033] 图15示出了金属晶种层中的温度和孔洞减少的效果的条形图。

具体实施方式

[0034] 在以下描述中,阐述了许多具体细节以便提供对提出的构思的透彻理解。提出的构思可以在不具有一些或全部这些具体细节的情况下实施。在其他情况下,没有详细描述众所周知的过程操作,以便不会非必要地模糊所述构思。虽然将结合具体实施例描述一些构思,但是应当理解的是,这些实施例并非旨在限制。

[0035] 简介

[0036] 虽然本发明可以用于多种应用,但是一个非常有用的应用是在制造半导体器件中常用的嵌入式或双嵌入式工艺。嵌入式或双嵌入式工艺可以包括金属互连线,例如,铜互连线。

[0037] 广义版本的双嵌入式技术可以参照图1A至图1C进行描述,这些图示出了双嵌入式工艺的一些阶段。

[0038] 图1A示出了在嵌入式工艺中一个或多个电介质层在通孔蚀刻之前的剖视示意图的实例。在双嵌入式工艺中,第一和第二电介质层通常连续沉积,可能通过沉积蚀刻停止层(例如,氮化硅层)来分隔。在图1A中,这些层被图示为第一电介质层103、第二电介质层105和蚀刻停止层107。这些层形成在衬底109的相邻部分上,这个部分可以是(设备级)基础金属化层或栅极层。

[0039] 在沉积第二电介质层105之后,所述工艺形成具有开口的通路掩模111,随后会在这些开口处蚀刻通路。图1B示出了在嵌入式工艺中图1A中的一个或多个电介质层在进行通孔蚀刻之后的剖面示意图的实例。接着,通路被部分地向下蚀刻穿过蚀刻停止层107的水平。然后,剥除通路掩模111,换上线掩模113,如图1B所示。执行第二蚀刻操作以去除足量的电介质,从而在第二电介质层105中限定线路径115。蚀刻操作还使通孔117穿过第一电介质

层103,向下与基础衬底109接触,如图1B所示。

[0040] 此后,所述工艺在电介质层103和105的暴露表面(包括侧壁)上形成薄薄的一层相对导电的阻挡层材料119。图1C示出了在嵌入式工艺中图1A和图1B中的电介质层在被蚀刻区域涂有导电阻挡层材料并且填满金属之后的剖视示意图的实例。导电阻挡层材料119可以是由例如氮化钽或氮化钛形成的。通常采用化学气相沉积(CVD)、原子层沉积(ALD)或物理气相沉积(PVD)操作以沉积导电阻挡层材料119。

[0041] 在导电阻挡层材料119的顶部,所述工艺然后在通孔和线通路117和115中沉积导电金属121(通常,虽然不一定,铜)。照惯例,这种沉积按照两个步骤进行:最初沉积金属晶种层,然后通过电镀大量沉积金属。然而,本发明在大量沉积步骤之前提供预处理步骤,以下将进行详细描述。金属晶种层可以通过PVD、CVD、无电镀或本领域中公知的任何其他合适的沉积技术来沉积。要注意,大量沉积的铜不仅填充线路径115,而且确保完全填满,覆盖第二电介质层105顶部上的所有暴露区域。金属121可以充当IC器件的铜互连线。在一些实施例中,在晶种层中使用除铜之外的金属。这些其他金属的实例包括钴、钨和钌。

[0042] 金属晶种层会容易与空气中的氧气或水蒸气发生反应,并且从纯金属被氧化成金属氧化物和掩埋的纯金属的混合薄膜。虽然环境条件下的氧化可能局限于一些金属的薄表面层,但是这个薄层可能代表大量碎片,或者可能在当前的技术节点中使用的薄晶种层的整个厚度。例如4xnm节点、3xnm节点、2xnm节点和1xnm节点以及小于10nm的技术节点可能需要较薄的层。需要较薄的金属层的技术节点中的通路和沟槽的高度与宽度的高宽比可能是约5:1或更大。在这种技术节点中,金属晶种层的厚度的平均值因此可能小于约100Å。在一些实施方式中,金属晶种层的厚度的平均值可以小于约50Å。

[0043] 虽然金属表面(M)与周围环境中的氧气或水蒸气之间的精确的反应机制会根据性能和氧化状态的变化而变化,但是通过以下反应式1和反应式2表示的一般的化学反应,用作晶种层或阻挡层的金属被转换成金属氧化物(Mox):

[0044] 反应式1: $2M_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MOx_{(s)}$

[0045] 反应式2: $2M_{(s)} + H_2O_{(g)} \rightarrow M_2Ox + H_2_{(g)}$

[0046] 例如,已知沉积在衬底上的铜晶种在暴露于空气时会迅速形成氧化铜。氧化铜薄膜可以在基础铜金属的顶部形成大约20Å并且高达50Å厚度的一层。由于铜晶种层变得越来越薄,因此从环境条件的氧化而形成的金属氧化物会造成重大技术挑战。

[0047] 纯金属晶种转化成金属氧化物会导致几个问题。不仅在现在的铜嵌入式处理中,而且在使用不同的导电金属,例如钌、钴、银、铝和这些金属的合金的电极沉积过程中,这都是真的。第一,难以在氧化表面上进行电镀。由于电镀槽添加剂会在金属氧化物和纯金属上产生不同的相互作用,所以可能导致不均匀的电镀。由于金属氧化物与纯金属之间的电导率不同,所以会进一步导致不均匀的电镀。第二,金属晶种中会形成孔洞,这会使部分金属晶种不能用于支持电镀。由于金属氧化物在暴露于腐蚀性电镀溶液期间溶解,所以可能形成孔洞。由于不均匀的电镀,也可能在表面上形成孔洞。另外,在氧化表面的顶部电镀大量金属会导致粘附或层离问题,这在接下来的后续处理步骤,例如,化学机械抛光(CMP)中会进一步导致孔洞。由于蚀刻、不均匀电镀、层离或其他方式导致的孔洞会使金属晶种层不连续,并且不能用于支持电镀。事实上,因为现代的嵌入式金属晶种层较薄,例如约50Å或更

薄,所以即使是非常小的氧化也会消耗整层厚度。第三,金属氧化形成物会阻碍后电极沉积步骤,例如封盖,金属氧化物会限制封盖层的粘附。

[0048] 在沉积金属晶种层之后,但是在该晶种层上电镀大量金属之前,可能难以避免在金属晶种层上形成金属氧化物。在电镀金属之前进行多个步骤,这会使金属晶种层暴露于环境条件的氧气或水蒸气。例如,图2示出了在衬底上电镀铜的方法的示例性流程图。在步骤205开始过程200,其中处理室或沉积室接收例如半导体晶片之类的衬底。使用合适的沉积技术,例如PVD,可以在衬底上沉积例如铜晶种层之类的金属晶种层。

[0049] 在任选的步骤210,可以冲洗并干燥具有金属晶种层的衬底。例如,可以使用去离子水来冲洗金属晶种层。冲洗步骤可以限制在例如约1秒至10秒之间的时间,但是可以进行更长或更短的时间。随后,可以干燥衬底,干燥的时间可以在约20秒至40秒之间,但是干燥步骤可以进行更长或更短的时间。在这个步骤期间,金属晶种层可能暴露而被氧化。

[0050] 在步骤215,具有金属晶种层的衬底被转移到电镀系统或电镀槽中。在此转移期间,金属晶种层可能暴露于环境条件使得金属晶种层会迅速氧化。在一些实施例中,这次暴露的持续时间会在约1分钟与约4小时之间、约15分钟与约1小时之间的任何时间或更多。在步骤220,可以在衬底上电镀大量金属。例如,具有铜晶种层的衬底可以浸渍在电镀槽中,电镀槽包含铜阳离子和酸溶液中的相关的阴离子。图2的步骤220可以涉及于2001年2月28日提交的美国专利No.6,793,796(代理人档案号NOVLP073)中描述的一系列过程,该专利的全部内容通过引用的方式并入本申请中。参考文献描述了电填充过程的至少四个阶段,并且公开了每个阶段的用于最佳地填充较小的嵌入特征的受控电流密度方法。

[0051] 由于在沉积金属晶种层与电镀之间存在使金属晶种层暴露而氧化的多个步骤,所以需要减少金属氧化表面的负效应的技术。然而,一些现有的技术也会具有缺点。通常,使用基于氢的等离子体会还原厚的金属氧化物,但是这种技术增加了大量成本并且利用实质上很高的温度(例如,至少超过200℃),这会严重损坏薄的金属晶种层,从而在特征尺寸内导致很大的孔洞数量。用于还原厚的金属氧化物的热形成气体退火在高于150℃的温度使用混合气体(例如,氢气和氮气的混合物),这会导致金属晶种附聚,并且还会导致孔洞增多。使用酸或其他化学试剂会溶解或蚀刻厚的金属氧化物,但是由于形成了无法镀上金属的晶种层不足的区域,去除这些氧化物会导致在无法镀上金属的区域中孔洞形成增多。

[0052] 本发明提供了还原金属氧化物表面成改性金属表面的方法。还原金属氧化物表面的方法提供了实质上清洁的金属表面,当衬底被引入电镀槽中时,所述金属表面实质上不含氧化物。实质上不含氧化物的衬底也可以被引入无电镀系统中或其他的金属沉积系统中。此外,还原金属氧化物的方法在相对较低的温度下进行,并且还原的金属氧化物被转化成金属以形成与金属晶种层结合在一起并且粘结到基础晶种或衬底上的连续薄膜。另外,还原金属氧化物表面的方法可以使金属回流以减少金属晶种层中的孔洞和间隙。金属回流可以使金属运动并且使晶种层中的原子重新分布以提高晶种的覆盖范围和/或平滑度,从而形成更均匀且连续的晶种层。

[0053] 还原金属晶种层上的金属氧化物的方法

[0054] 公开了使用远程等离子体来制备具有金属晶种层的衬底的方法。在一些实施例中,衬底维持在使金属晶种层在暴露于还原性气氛期间产生附聚的温度以下的温度。在一些实施例中,所述方法进一步包括:将衬底转移到包含电镀溶液的电镀槽中,并且使用电镀

溶液在金属晶种层上电镀金属。

[0055] 图3示出了还原金属晶种层上的金属氧化物以及衬底上的电镀金属的方法的示例性流程图。在步骤305开始过程300,其中在处理室中设置衬底,所述衬底的电镀表面上具有金属晶种层。金属晶种层的一部分转化成金属的氧化物。在此之前,可以在衬底上沉积例如薄铜层之类的金属晶种层。这就提供了在衬底的电镀表面上具有金属晶种层的衬底。衬底可以具有高宽比大于约3:1或大于约5:1的高度与宽度的凹槽、沟槽、通路或特征。在一些实施例中,金属晶种层的厚度可以小于约100Å。金属晶种层可以包括铜、钴、钕、钪、铈、铟、铪、镍、金、银、铝和钨中的至少一种。

[0056] 在一些实施例中,金属晶种层可以包括半贵金属层。半贵金属层可以是扩散阻挡层的部分或充当扩散阻挡层。半贵金属层可以包括半贵金属,例如钕。在美国专利No.7,442,267(代理人档案号NOVLP350)、美国专利No.7,964,506(代理人档案号NOVLP272)、美国专利No.7,799,684(代理人档案号NOVLP207)、美国专利申请No.11/540,937(代理人档案号NOVLP175)、美国专利申请No.12/785,205(代理人档案号NOVLP272X1)和美国专利申请No.13/367,710(代理人档案号NOVLP272X2)中进一步描述了半贵金属层的多个方面,各上述专利申请通过引用的方式全部并入本申请中。可以在例如PVD设备之类的沉积设备中进行金属晶种层的沉积。在一些实施例中,过程300可以继续,其中衬底被转移到具有大幅减小的压力或真空环境的处理室或设备中。处理室或设备可以包括还原性气体物质。在一些实施例中,还原性气体物质可以包括氢气(H₂)、氨气(NH₃)、一氧化碳(CO)、乙硼烷(B₂H₆)、亚硫酸盐化合物、碳和/或烃类、亚磷酸盐和/或联氨(N₂H₄)。在转移期间,衬底可能暴露于能够使金属晶种层的表面氧化的环境条件。因此,金属晶种层的至少一部分可能转化成被氧化的金属或者已经转化成被氧化的金属。

[0057] 在步骤310,在远程等离子体源中形成还原性气体物质的远程等离子体,其中远程等离子体包括来自还原性气体物质的自由基、离子以及紫外线(UV)辐射中的一种或多种。远程等离子体可以产生还原性气体物质的自由基,比如说,H^{*}、NH₂^{*}或N₂H₃^{*}。还原性气体物质的自由基与金属氧化物表面发生反应以产生纯金属表面。如以下所证实的,反应式3表示例如氢气的还原性气体物质分解成氢自由基的实例。反应式4示出了氢自由基与金属氧化物表面发生反应而将金属氧化物转化成金属。对于没有分解的氢气分子或者重新结合以形成氢气分子的氢自由基,氢气分子仍然可以充当将金属氧化物转化成金属的还原剂,如反应式5所示。

[0058] 反应式3:H₂→2H^{*}

[0059] 反应式4:(x) 2H^{*}+MO_x→M+(x) H₂O

[0060] 反应式5:xH₂+MO_x→M+xH₂O

[0061] 在步骤315,衬底的金属晶种层暴露于远程等离子体。暴露于远程等离子体使金属的氧化物还原成与金属晶种层结合在一起的薄膜形式的金属。还原性气体物质的自由基、来自还原性气体物质的离子、来自还原性气体物质的紫外线(UV)辐射或还原性气体物质本身在使金属氧化物转化成与金属晶种层结合在一起的薄膜形式的金属的条件下与金属氧化物发生反应,如步骤315所示。以下参照图4D进一步详细讨论与金属晶种层结合在一起的薄膜的特性。

[0062] 远程等离子体可以产生并包括还原性气体物质的离子和其他带电物质。还原性气

体物质的离子和带电物质可以移动到衬底的表面以使金属晶种层发生反应,或者说是与金属晶种层接触。离子或带电物质可以朝着衬底的表面自由漂移,或者当在衬底支撑上提供反向带电偏压时朝着衬底的表面加速。离子或带电物质可以与金属氧化物发生反应以还原金属氧化物。在一些实施方式中,远程等离子体中的离子或带电物质可以包括,例如, H^+ 、 NH_2^+ 、 NH_3^+ 和 H^- 。根据氧化物层的厚度和属性,离子或带电物质可以有益于还原金属晶种层上的氧化物,氧化物可以形成在钴、钪、钽、铪、铌、钼、镍、金、银、铝、钨和它们的合金上。例如,离子或带电物质可以有利于处理含钴的晶种层。

[0063] 远程等离子体还可以产生并包括来自还原性气体物质的紫外线辐射。激发远程等离子体的还原性气体分子可以引起发射光子。发射的光子会导致以下几个效果之一。第一,紫外线光谱中发射的光子会加热衬底的表面,从而使金属氧化物表面活化,使得自由基、离子和其他带电物质可以更容易地与金属氧化物表面发生反应。第二,还原性的气体物质可以吸收发射的光子并且产生还原性气体物质的自由基。产生的自由基可以与金属氧化物表面发生反应以还原金属氧化物。第三,发射的光子可以具有足够的能量以使金属氧化物本身还原。

[0064] 使金属氧化物转化成与金属晶种层结合在一起的薄膜形式的金属的处理条件可以根据选择的金属和/或选择的还原性气体物质的变化而变化。在一些实施例中,还原性气体物质可以包括 H_2 、 NH_3 、 CO 、碳和/或烃类、 B_2H_6 、亚硫酸盐化合物、亚磷酸盐和 N_2H_4 中的至少一种。此外,还原性气体物质可以与混合气体物质,例如,与较为惰性的气体物质结合。较为惰性的气体物质的实例可以包括氮气(N_2)、氦气(He)、氖气(Ne)、氪气(Kr)、氙气(Xe)、氡气(Rn)和氩气(Ar)。还原性气体物质的流速可以根据用于处理的晶片的尺寸的变化而变化。例如,对于处理单个450mm的晶片,还原性气体物质的流速可以在约10标准立方厘米每分钟(sccm)与约100,000sccm之间。还可以应用其他晶片尺寸。例如,对于处理单个300mm的晶片,还原性气体物质的流速可以在约500sccm与约30,000sccm之间。

[0065] 处理条件,例如处理室或还原室中的温度和压力,还可以受到控制以允许金属氧化物转化成与金属晶种层结合在一起的薄膜形式的金属。在一些实施例中,还原室的温度可以较高以允许还原性气体物质分解成自由基。例如,还原室可以在约10℃与约500℃之间,例如在约50℃与约250℃之间的任何温度。更高的温度可以用于加速金属氧化物还原反应并且缩短暴露于还原性气氛的持续时间。在一些实施例中,还原室可以具有较低的压力以实质上去除还原性气氛中的任何氧气,因为使还原性气氛中存在的氧气最少化可以降低再次氧化的效果。例如,还原室可以被泵吸到真空环境或者约0.1Torr与约50Torr之间的减小的压强。增大的温度和/或减小的温度还可以增加金属晶种层中的金属原子的回流以形成更均匀且连续的金属晶种层。

[0066] 虽然还原室可以具有较高的温度以允许还原性气体物质分解成自由基,但衬底本身的温度可以单独地受到控制以避免或减少对金属晶种层的损坏。根据金属晶种层中的金属类型,金属在阈值温度以上可以开始附聚。附聚效果在较薄的晶种层中更加明显,尤其是在厚度小于约100Å的晶种层中更加明显。附聚包括任何连续的或半连续的金属晶种层聚结或凝聚成珠、鼓包、岛或其他包块,从而形成不连续的金属晶种层。这会导致金属晶种层从其所处的表面剥离,并且在电镀期间会导致孔洞增加。例如,铜中开始发生附聚时的温度是大于约100℃。不同的附聚温度可以适于不同的金属。

[0067] 为了控制衬底的温度并且避免或降低附聚的效果,可以在还原室中使用例如主动冷却基座和/或气流冷却装置之类的冷却系统以保持衬底的局部区域在附聚温度以下的温度。在一些实施例中,衬底可以被支撑在基座上并且与基座直接接触。在一些实施例中,在基座与衬底之间可以存在间隙。可以通过传导、对流、辐射或它们的组合进行热传递。

[0068] 在一些实施方式中,主动冷却基座提供了嵌入基座中的传热元件,所述传热元件具有电阻式加热元件、冷却通道或其他热源或散热器。例如,基座可以包括冷却元件,所述冷却元件允许例如水等流体在基座中循环并且主动冷却基座。在一些实施例中,冷却元件可以位于基座外。在一些实施例中,冷却流体可以包括低沸点流体,例如,乙二醇。于2008年2月5日公布的美国专利No.7,327,948(代理人档案号NOVLP127X1)、于2011年1月5日公布的美国专利No.7,941,039(代理人档案号NOVLP127X3)、于2007年5月21日提交的美国专利申请No.11/751,584(代理人档案号NOVLP127X2)、于2012年2月10日提交的美国专利申请No.13/370,579(代理人档案号NOVLP127C1)以及于2012年3月20日公布的美国专利No.8,137,465(代理人档案号NOVLP127)中描述了包括这些冷却元件的实施例,这些专利申请中的每个为了所有的目的并且通过引用的方式全部并入本申请中。可以使用反馈回路来主动控制基座的温度。

[0069] 在一些实施方式中,在基座与衬底之间可以存在间隙,并且可以在基座与衬底之间引入例如气体等传导介质以冷却衬底。在一些实施例中,传导介质可以包括氦气。在一些实施例中,基座可以是凸的或凹的以促进整个衬底的均匀冷却。于2005年5月12日提交的美国专利申请No.11/129,266(代理人档案号NOVLP361)、于2006年10月10日提交的美国专利申请No.11/546,189(代理人档案号NOVLP198)以及于2010年3月29日提交的美国专利申请No.12/749,170(代理人档案号NOVLP361D1)中描述了基座外形的实例,这些专利申请中的每个为了所有的目的并且通过引用的方式全部并入本申请中。

[0070] 可以利用不同的配置来高效地冷却衬底并在整个衬底上维持实质上均匀的温度。主动冷却系统的一些实施方式包括与穿过衬底的均匀气流相耦合的基座内的基座循环水。其他实施方式包括与穿过衬底的均匀气流相耦合的电阻式加热的基座。其他配置和/或附件还可以具有主动冷却系统。例如,按照于2011年4月13日提交的美国专利申请No.13/086,010(代理人档案号NOVLP400)的描述,可以在基座与衬底之间插入可移动的陶瓷盖以促进衬底上实质上均匀温度的形成,该申请基于所有目的通过引用的方式全部并入本申请中。在一些实施例中,按照于2011年10月11日公布的美国专利No.8,033,771(代理人档案号NOVLP298)的描述,气流可以受到控制,同时使接触支撑最小,以迅速且均匀地冷却衬底,该申请基于所有目的通过引用的方式全部并入本申请中。在一些实施例中,按照于2012年10月12日公布的美国专利No.8,288,288(代理人档案号NOVLP232)的描述,通过改变传导介质的分压可以调节传导介质的传热系数,该申请为了所有的目的并且通过引用的方式全部并入本申请中。可以按照本领域公知的方式利用维持较低的衬底温度的局部冷却系统的其他配置。

[0071] 在一些实施例中,衬底维持在使金属晶种层在暴露于远程等离子体期间产生附聚的温度以下的温度。通过使用本文中在先讨论的或本领域公知的任何冷却系统,可以将衬底的温度维持在金属的附聚温度以下的温度。在一些实施例中,衬底可以维持在约150℃以下的温度,例如,在约-10℃与约150℃之间。在铜晶种层中,例如,衬底可以维持在约75℃与

约100℃之间的温度。在钴晶种层中,衬底可以维持在大于约100℃的温度。

[0072] 暴露于还原性气氛的持续时间可以根据其他处理参数的变化而变化。例如,可以通过增大远程等离子体的功率、还原室的温度等来缩短暴露于还原性气氛的持续时间。在一些实施例中,将金属氧化物表面还原成与金属晶种层结合在一起的薄膜形式纯金属的暴露的持续时间可以在约1秒与约60分钟之间。例如,对于铜晶种层的预处理,暴露的持续时间可以在约10秒与约300秒之间。

[0073] 虽然大部分还原处理会要求衬底在电镀之前进行冲洗和干燥以便清洁衬底表面,但是衬底由于暴露于还原性气氛而不需要在电镀之前进行冲洗和干燥。因此,使用还原性气氛来还原金属氧化物表面可以避免在电镀之前冲洗并干燥衬底的额外步骤,这可以进一步降低再次氧化的效果。

[0074] 在一些实施方式中,金属晶种层中的金属由于暴露于以下各项的一种或多种而可以回流:增大的温度、减小的压力、来自紫外源的紫外线辐射、来自远程等离子体的紫外线辐射以及来自远程等离子体的自由基、粒子和其他带电物质。这种暴露可以导致金属晶种层中的原子进入更高的激发态并且变得更加活跃。原子可以在基础层上到处运动以减小孔洞/间隙。因此,可以形成更均匀且连续的金属晶种层。在一些实施方式中,回流和还原处理可以同时进行。

[0075] 在一些实施例中,在衬底的金属晶种层暴露于远程等离子体之后,衬底可以在环境条件下或在惰性气体的覆盖下被转移到电镀系统、无电镀系统、金属沉积系统或预处理设备。虽然通过将金属氧化物表面暴露于还原性气氛而实质上减少了金属晶种层中的金属氧化物,但是执行这个步骤会存在因暴露于周围环境而再次氧化的额外挑战。在一些实施例中,通过例如缩短转移的持续时间或者控制转移期间的气氛等技术可以使暴露于环境条件最小化。另外或替代地,在比环境条件的氧化性更弱的受控环境下进行转移。为了控制转移期间的气氛,例如,气氛可以实质上不含氧气。环境可以实质上是惰性的并且/或者低压或真空。在一些实施例中,衬底可以在惰性气体的覆盖下转移。如下所述,可以从远程等离子体设备转移到电镀系统或包括电镀溶液的电镀槽,其中远程等离子体设备与电镀系统或电镀槽结合在一起或者说是与其连接上。随后,可以在衬底上电镀金属。例如,可以使用电镀溶液将金属电镀在金属晶种层上。

[0076] 图4A至图4D示出了沉积在导电阻挡层上的金属晶种层的剖视示意图的实例。图4A示出了沉积在导电阻挡层419上的被氧化的金属晶种层的剖视示意图的实例。如本文中在先所述,金属晶种层420在暴露于环境条件中的氧气或水蒸气时会被氧化,这会使金属晶种层420的一部分金属转化成金属氧化物425。

[0077] 图4B示出了金属晶种层由于去除了金属氧化物而具有孔洞的剖视示意图的实例。如本文中在先所述,一些溶液通过去除金属氧化物425来处理金属氧化物425,从而导致孔洞426。例如,通过使用酸或其他化学制品进行氧化蚀刻或氧化溶解可以去除金属氧化物425。因为孔洞426的厚度可以实质上大于金属晶种层420的薄度,所以孔洞426在后续电镀中效果会很显著。

[0078] 图4C示出了金属晶种层的剖视示意图的实例,还原的金属氧化物形成不与金属晶种层结合在一起的反应产物。如本文中在先所述,一些溶液在金属与金属晶种层420附聚的条件下还原金属氧化物425。在一些实施例中,还原技术产生能够与金属晶种层420附聚的

金属颗粒427,例如,铜粉。金属颗粒427没有与金属晶种层420形成一体化薄膜。相反,金属颗粒427是不连续的、共形的并且/或者粘附在金属晶种层420上。

[0079] 图4D示出了金属晶种层的剖视示意图的实例,还原的金属氧化物形成与金属晶种层结合在一起的薄膜。在一些实施例中,来自还原性气体物质的自由基、来自还原性气体物质的离子、来自还原性气体物质的紫外线辐射或者还原性气体物质本身可以还原金属氧化物425。当大致调节成还原性气氛的处理条件时,图4A中的金属氧化物425可以转化成与金属晶种层420结合在一起的薄膜428。薄膜428不是粉末。与图4C中的实例形成对比,薄膜428可以具有与金属晶种层420结合在一起的几个性能。例如,薄膜428在金属晶种层420的轮廓上可以是实质上连续且共形的。此外,薄膜428可以实质上粘附到金属晶种层420上,使得薄膜428不容易从金属晶种层420剥离。

[0080] 远程等离子体设备

[0081] 公开了一种用于制备具有金属晶种层的衬底的远程等离子体设备。远程等离子体设备包括处理室、处理室上方的远程等离子体源以及控制器。在一些实施例中,远程等离子体设备进一步包括用于在处理室内保持衬底的衬底支撑以及在远程等离子体源与衬底支撑之间的喷头。在一些实施例中,远程等离子体设备进一步包括在处理室内的一个或多个活动构件。一个或多个活动构件可以被配置为移动衬底到喷头与衬底支撑之间的位置。控制器可以被配置为执行以下操作:在处理室内提供衬底,在该衬底的电镀表面上具有金属晶种层,其中金属晶种层的一部分已经转化成金属的氧化物;在远程等离子体源中形成还原性气体物质的远程等离子体,其中远程等离子体包括来自还原性气体物质的自由基、离子和紫外线辐射中的一种或多种;并且使衬底的金属晶种层暴露于远程等离子体,其中暴露于远程等离子体使金属的氧化物还原成与金属晶种层结合在一起的薄膜形式的金属。控制器还可以被配置为执行一个或多个操作,包括:在衬底的金属晶种层暴露于远程等离子体之前通过一个或多个活动构件使衬底朝着衬底支撑移动;以及使衬底暴露于冷却气体。

[0082] 远程等离子体设备可以被配置为执行不限于使用远程等离子体处理衬底的多个操作。远程等离子体设备可以被配置为高效地转移(例如,装载)衬底到电镀设备、无电镀设备或其他金属沉积设备以及从这些设备高效地转移(例如,卸载)衬底。例如,控制器可以被配置为将衬底转移到包括电镀溶液的电镀槽中,并且使用电镀溶液在金属晶种层上电镀金属。远程等离子体设备可以被配置为通过使用活动构件并且/或者使用衬底支撑定位衬底来高效地控制衬底的温度。远程等离子体设备可以被配置为通过控制衬底支撑的温度以及喷头的温度来高效地控制衬底的温度。远程等离子体设备可以被配置为通过相对于喷头定位衬底支撑来调整还原反应的速率以及还原反应的均匀度。远程等离子体设备可以被配置为通过控制传输到处理室内的气体以及气体的流速来控制衬底周围的环境条件。这些操作可以改善衬底的处理,同时还将额外的操作集成到单个独立的设备中。因此,单个设备可以用于处理衬底并且冷却衬底,而不是使用两个单独的模块。此外,通过将远程等离子体设备配置成能够执行一些上述操作,远程等离子体设备可以在处理衬底之前、处理衬底期间以及处理衬底之后减少金属晶种层的潜在氧化。

[0083] 在一些实施方式中,远程等离子体设备可以进一步包括紫外源。紫外源可以包括宽带紫外灯,例如,水银灯、准分子紫外灯、准分子紫外激光和其他合适的紫外源。于2013年3月6日提交的美国专利申请No.13/787,499(代理人档案号LAMRP027)中描述了紫外源的多

个方面,该申请为了所有的目的并且通过引用的方式全部并入本申请中。在一些实施方式中,还原性气体物质可以暴露于来自紫外源的紫外线辐射以形成还原性气体物质的自由基和其他带电物质,所述自由基和其他带电物质可以与金属晶种层的金属氧化物薄膜发生反应以还原金属氧化物。

[0084] 图5示出了具有处理室的远程等离子体设备的剖视示意图的实例。远程等离子体设备500包括处理室550,所述处理室包括支撑衬底510的衬底支撑505,例如基座。远程等离子体设备500还包括衬底510上方的远程等离子体源540以及衬底510与远程等离子体源540之间的喷头530。还原性气体物质520可以通过喷头530从远程等离子体源540朝着衬底510流动。在远程等离子体源540中可以生成远程等离子体以产生还原性气体物质520的自由基。在远程等离子体源540中还可以生成远程等离子体以产生还原性气体物质520的离子和其他带电物质。远程等离子体可以进一步从还原性气体物质产生光子,例如紫外线辐射。例如,线圈544可以包围远程等离子体源540的壁面并且在远程等离子体源540中产生远程等离子体。

[0085] 在一些实施例中,线圈544可以与射频(RF)功率源或微波功率源电气通信。在加利福尼亚州菲蒙市Lam Research Corporation制造的**GAMMA®**中可以找到具有射频功率源的远程等离子体源540的实例。在马萨诸塞州威明顿市的MKS Instruments制造的**Astron®**中可以找到射频远程等离子体源540的另一个实例,该设备可以在440kHz工作,并且可以作为通过螺栓固定在较大设备上的子单元来并行处理一个或多个衬底。在一些实施例中,微波等离子体可以与MKS Instruments制造的**Astex®**远程等离子体源540一起使用。微波等离子体可以被配置为以2.45GHz的频率工作。

[0086] 在使用射频功率源的实施例中,射频发生器可以在任何合适的功率工作以形成所需组分的自由基物质的等离子体。合适的功率的实例包括,但不限于,约0.5kW与约6kW之间的功率。同样地,射频发生器可以提供合适频率的射频功率,例如,对于感应耦合等离子体,合适的频率为13.56MHz。

[0087] 还原性气体物质520可以从气体入口542释放出来并且进入远程等离子体源540的内体积中。供应到线圈544的功率可以产生具有还原性气体物质520的远程等离子体以形成还原性气体物质520的自由基。远程等离子体源540中形成的自由基能够通过喷头530朝着衬底510以气相输送。于2011年12月27日公布的美国专利No.8,084,339(代理人档案号NOVLP414)中描述了具有这种配置的远程等离子体源655的实例,该申请为了所有的目的并且通过引用的方式全部并入本申请中。还原性气体物质520的自由基可以还原衬底510表面上的金属氧化物。

[0088] 除还原性气体物质的自由基之外,远程等离子体还可以产生并包括还原性气体物质520的离子和其他带电物质。在一些实施例中,远程等离子体可以包括还原性气体物质520的中性分子。一些中性分子可以是由还原性气体物质520的带电物质重新组合得到的分子。还原性气体物质520的中性分子或重新组合的分子也可以还原衬底510表面上的金属氧化物,虽然这些分子比还原性气体物质520的自由基耗费更长的时间与金属氧化物发生反应并还原金属氧化物。离子可以漂移到衬底510的表面并且还原剂氧化物,或者如果衬底支撑505具有反向带电偏压,那么离子可以朝着衬底510的表面加速以还原金属氧化物。具有更高离子能量的物质可以允许更深入地注入到金属晶种层中以形成远离衬底510的表面的

亚稳定自由基物质。例如,如果衬底510具有更高的高宽比特征,例如在约10:1与约60:1之间,具有更高离子能量的离子可以更深入地穿透到这种特征中,从而在这个特征的更大范围内提供金属氧化物的还原。相比之下,由远程等离子体产生的还原性气体物质520的一些自由基可以在特征顶部的区域内或附近重新结合。具有更高离子能量(例如10eV至100eV)的离子也可以用于重新溅射金属晶种层中的金属并使其回流,这会导致更均匀的晶种覆盖范围并且减少后续电镀或金属沉积(例如,PVD、CVD、ALD)的高宽比。

[0089] 在图5中,远程等离子体设备500可以主动冷却或者说是控制衬底510的温度。在一些实施例中,可能希望控制衬底510的温度以控制处理期间的还原反应的速率以及暴露于远程等离子体的均匀度。还希望控制衬底510的温度以在处理之前、处理期间和/或处理之后降低衬底510上的氧化效果。

[0090] 在一些实施例中,远程等离子体设备500可以包括活动构件515,例如,升降销,所述活动构件能够移动衬底510远离或靠近衬底支撑505。活动构件515可以与衬底510的下表面接触或者说是从衬底支撑505拾取衬底510。在一些实施例中,活动构件515可以垂直地移动衬底510并且控制衬底510与衬底支撑505之间的间距。在一些实施例中,活动构件515可以包括两个或更多个可致动的升降销。活动构件515可以被配置为延伸离开衬底支撑505约0英寸与约5英寸之间的长度。活动构件515可以使衬底510延伸远离热的衬底支撑505并且朝着冷却喷头530延伸以冷却衬底510。活动构件515还可以带着衬底510朝向热的衬底支撑505缩回并且远离冷的喷头530以加热衬底510。通过活动构件515来定位衬底510,可以调节衬底510的温度。当定位衬底510时,喷头530和衬底支撑505可以保持在恒定的温度。

[0091] 在一些实施例中,远程等离子体设备500可以包括允许控制喷头温度的喷头530。于2012年3月20日公布的美国专利No.8,137,467(代理人档案号NOVLP246)以及于2009年4月16日公布的美国专利申请No.2009/0095220(代理人档案号NOVLP246X1)中描述了允许控制温度的喷头配置的实例,这两个申请为了所有的目的并且通过引用的方式全部并入本申请中。于2011年6月23日公布的美国专利公布No.2011/0146571(代理人档案号NOVLP329)中描述了允许控制温度的喷头配置的另一个实例,该申请为了所有的目的并且通过引用的方式全部并入本申请中。为了允许主动冷却喷头530,可以使用热交换流体,例如,去离子水或者由密歇根州米德兰市的Dow Chemical Company制造的传热液体。在一些实施例中,传热流体可以流过喷头530中的流体通道(未示出)。此外,喷头530可以使用热交换系统(未示出),例如流体加热器/冷冻器来控制温度。在一些实施例中,喷头530的温度可以被控制在低于约30℃,例如,在约5℃与约20℃之间。喷头530可以被冷却以减少在衬底510处理期间由于过热而对金属晶种层造成的破坏。例如,在处理衬底510之前以及之后,喷头530还可以被冷却到低于衬底510的温度。

[0092] 在一些实施例中,喷头530可以包括多个孔。增大喷头530中孔的尺寸和数量并且/或者减小喷头530的厚度可以允许更多的来自还原性气体物质520的自由基、离子和紫外线辐射流过喷头530。使金属晶种层暴露于更多的自由基、离子和紫外线辐射可以提供更多的紫外线曝光和高能物质来还原金属晶种层中的金属氧化物。在一些实施例中,喷头530可以包括约100个与约900个之间的孔。在一些实施例中,孔的平均直径可以在约0.05英寸与约0.5英寸之间。由于这些孔,这会在喷头530中导致约3.7%与约25%之间的过流面积。在一些实施例中,喷头530可以具有约0.25英尺与约3.0英尺之间的厚度。

[0093] 在一些实施例中,衬底支撑505可以被配置为朝着和远离喷头530移动。衬底支撑505可以垂直地延伸以控制衬底510与喷头530之间的间距。当还原衬底510上的金属氧化物时,可以调节衬底510上还原的均匀度以及速率。例如,如果衬底支撑505更靠近喷头530,就会更快地还原衬底510表面上的金属氧化物。然而,衬底510的中心会比衬底510的边缘热,这会导致更不均匀的还原处理。因此,可以调节衬底510与喷头530之间的间距以获得处理衬底510所需的速率和均匀度。在一些实施例中,衬底支撑505可以被配置为从喷头530延伸约0英寸与约5英寸之间或大于约5英寸的距离。

[0094] 在一些实施例中,还可以调节衬底支撑505的温度。在一些实施例中,衬底支撑505可以是具有一个或多个流体通道(未示出)的基座。根据传热流体的温度,流体通道可以使传热流体在基座内循环以主动冷却或主动加热基座。在本文中在先讨论的主动冷却基座系统中描述了包括这种流体通道和传热流体的实施例。传热流体通过一个或多个流体通道进行循环可以控制衬底支撑505的温度。衬底支撑505的温度控制可以将衬底510的温度控制到更精细的程度。在一些实施例中,衬底支撑505的温度可以被调节到约0℃与约400℃之间。

[0095] 在一些实施例中,远程等离子体设备500可以包括使冷却气体560流过处理室550的一个或多个气体入口522。一个或多个气体入口522可以定位在衬底510的上方、下方和/或侧边。一个或多个气体入口522中的某些可以被配置为使冷却气体560在实质上垂直于衬底510的表面的方向上流动。在一些实施例中,气体入口522的至少一个可以通过喷头530输送冷却气体560到衬底510。一个或多个气体入口522中的一些可以与衬底510的平面平行,并且可以被配置为输送横流的冷却气体560横穿衬底510的表面。在一些实施例中,一个或多个气体入口522可以输送冷却气体560到衬底510的上方和下方。横穿衬底510流动的冷却气体560能使衬底510快速冷却。快速冷却的衬底510可以减少衬底510上的金属晶种层的氧化。衬底510的这种冷却可以在处理衬底510之前以及之后进行。用于冷却的冷却气体560的流速可以在约0.1标准升每分钟(slm)与约100标准升每分钟之间。

[0096] 冷却气体560的实例可以包括较为惰性的气体,例如,氮气、氦气、氖气、氩气、氙气、氪气和氙气。在一些实施例中,冷却气体560可以包括氮气、氦气和氙气的至少一种。

[0097] 在一些实施例中,冷却气体560可以在室温下进行输送,例如,在约10℃与约30℃之间的温度。在一些实施例中,冷却气体560可以在低于室温的温度下进行输送。例如,通过使冷的液体(例如,液态氩、液态氦或液态氮)膨胀成气体可以形成冷的惰性气体。因此,用于冷却的冷却气体560的温度范围可以扩大到在约-270℃与约30℃之间的任何温度。

[0098] 在一些实施例中,远程等离子体设备500可以是电镀设备(未示出)的一部分或与电镀设备结合在一起。如图8B和图8C所示,以下将更加详细地讨论。衬底510上的金属晶种层在暴露于环境条件期间会迅速氧化。通过将远程等离子体设备500附接到或者连接到电镀设备上,可以减少衬底510暴露于环境条件的持续时间。例如,在处理之后在远程等离子体设备与电镀设备之间的转移时间可以在约15秒与约90秒之间,或者小于约15秒。

[0099] 表1总结了可以用于远程等离子体设备500的某些实施例的处理参数的示例性范围。

[0100] 表1

[0101]

参数	参数范围
基座温度	0°C - 400°C
喷头温度	5°C - 30°C
基座垂直下降行程	0" - 5"
升降销垂直上升行程	0" - 5"
冷却气体流量 (N ₂ /Ar/He-纯的或混合的)	0.1-100slm
冷却气体温度	-270°C - 30°C
处理气体流量 (H ₂ /He/NH ₃ -纯的或混合的)	0.5slm-30slm
处理压力	0.5-6Torr
排气流量	与冷却气体名义上相同
排气	与冷却气体名义上相同
射频等离子体功率	0.5-6kW
远程等离子体设备到电镀设备的转移时间	15-90秒
喷头孔的数量	100-900
喷头厚度	0.25"-3.0"
喷头孔的直径	0.05"-0.5"
喷头由于孔的过流面积	3.7%-25%

[0102] 控制器535可以包括用于控制远程等离子体设备500操作的参数的指令。控制器535通常包括一个或多个存储设备以及一个或多个处理器。处理器可以包括CPU或计算机、模拟和/或数字输入/输出连接、步进电机控制板等。将会参照图8A和图8B的控制器来进一步描述控制器535的多个方面。

[0103] 图6A示出了处理具有金属晶种层的衬底的方法的示意性流程图。图7A至图7D示出了使用远程等离子体设备处理具有金属晶种层的衬底的多个阶段的剖视示意图的实例。将会参照图7A至图7D中对应的剖视示意图来讨论图6A中讨论的一些步骤。

[0104] 在图6A中,在步骤605a开始过程600a,其中在处理室中设置衬底。衬底可以包括金属晶种层,金属晶种层的一部分已经转化成金属的氧化物。在使用远程等离子体处理衬底之前,可以将衬底装载到远程等离子体设备的处理室中。在一些实施例中,衬底可以设置在处于启动位置的一个或多个活动构件上。在一些实施例中,惰性气体可以流动经过处理室以在装载期间冷却衬底。这可以减少衬底在装载期间的额外氧化。在一些实施例中,在将衬底装载到处理室中时,处理室可以被封闭并且被泵吸至真空或至减小的压力。这可以提供实质上不含氧气的环境。处理室的压力可以在约0.5Torr与约6Torr之间,例如在约0.5Torr与3Torr之间。减小的压力可以减少环境中存在的氧气。因此,在这种条件下将衬底装载到处理室内可以减少金属晶种层的额外氧化。

[0105] 图7A示出了在处理具有金属晶种层的衬底的多个阶段之一(例如,在步骤605a)的远程等离子体设备700的剖视示意图的实例。远程等离子体设备700包括处理室750内的衬底支撑705、衬底支撑705上方的远程等离子体源740以及远程等离子体源740与衬底支撑705之间的喷头730。活动构件715可以从衬底支撑705朝着喷头730延伸以定位衬底710。活动构件的实例可以包括升降销和周边夹具。衬底710可以包括金属晶种层,其中金属晶种层

包括Cu、Co、Ru、Pd、Rh、Ir、Os、Ni、Au、Ag、Al和W中的至少一种。在一些实施例中，金属晶种层的厚度可以小于约100Å。

[0106] 在图7A中，处理室750中的活动构件715可以将衬底710定位在启动位置处。启动位置可以使衬底710比非启动位置更靠近喷头730A₁的距离（如图7B所示）。在启动位置时，衬底710与喷头730之间的距离A₁可以在约0.05英寸与约0.75英寸之间。衬底710与衬底支撑705之间的距离B₁可以是任何所需的距离。例如，距离B₁可以大于约1英寸，例如在约1英寸与约5英寸之间。喷头730可以维持在较低的温度，例如，小于约30℃。

[0107] 返回图6A，在步骤610a，衬底在处理室内朝着衬底支撑移动。在一些实施例中，衬底可以通过活动构件移动到非启动位置。非启动位置比启动位置远离处理室中的喷头。在一些实施例中，非启动位置的衬底可以与衬底支撑接触。例如，活动构件可以缩回使得衬底可以停靠在衬底支撑上。在一些实施例中，衬底支撑与衬底之间可以存在间隙，可以通过传导、对流、辐射或它们的组合来进行热传递。衬底支撑可以被加热，继而可以加热衬底。衬底支撑可以被加热到处理温度，例如在约0℃与约400℃之间的温度。衬底支撑的温度可以取决于衬底的金属晶种层。例如，对于钴，衬底支撑可以被加热到约250℃与约300℃之间，并且对于铜，衬底支撑可以被加热到约75℃与约100℃之间。更高温度的衬底可以加速金属氧化物的还原反应。然而，温度可以被选定为不超过金属晶种层的附聚温度。当衬底被加热时，衬底可以暴露于远程等离子体处理。

[0108] 图7B示出了在处理具有金属晶种层的衬底的多个阶段之一（例如，在步骤610a）的远程等离子体设备700的剖视示意图的实例。远程等离子体设备700包括衬底支撑705上方的衬底710，其中衬底710处于未启动位置。在未启动位置时，衬底710被定位成与喷头730相距A₂的距离，并且比启动位置距离喷头730更远。喷头730与衬底710之间的距离A₂可以大于约1英寸，例如在约1英寸与约5英寸之间。衬底710与衬底支撑705可以彼此接触，或者衬底710与衬底支撑705之间的距离B₂可以较小以便允许衬底710与衬底支撑705之间进行有效的热传递。在一些实施例中，距离B₂可以在约0英寸与约0.5英寸之间。在一些实施例中，活动构件715可以缩回，使得衬底710停靠在衬底支撑705上。衬底支撑705通过垂直地移动衬底710可以相对于喷头730定位衬底710。喷头730可以维持在较低的温度，例如，小于约30℃。

[0109] 距离A₂可以被调节，并且可以调整处理衬底期间的反应速率以及反应的均匀度。例如，当衬底支撑705更靠近喷头730时，反应速率可以更快，但是获得均匀度更小的结果。通过衬底支撑705的垂直运动可以调节距离A₂。在一些实施例中，衬底支撑705可以从处理室的第一位置移动到第二位置，其中第一位置与第二位置之间的距离大于约1英寸。增大定位衬底支撑705的自由度对于调整随后的还原处理的速率和均匀性提供了更大的灵活性。

[0110] 返回图6A，在步骤615a，远程等离子体可以由远程等离子体源中的还原性气体物质形成的，其中远程等离子体包括还原性气体物质的自由基。远程等离子体可以通过将还原性气体物质暴露于能量源来形成。能量源可以产生朝着衬底流动的自由基、离子和其他带电物质。在一些实施例中，能量源可以是射频放电。当形成了远程等离子体时，衬底可以被加热或已经被加热到所需的处理温度。在一些实施例中，喷头连接到远程等离子体源上并且过滤掉离子使得还原性气体物质的自由基可以朝着处理室中的衬底流动。

[0111] 在步骤620a，衬底的金属晶种层暴露于还原性气体物质的自由基。金属晶种层的

一部分可以包括金属晶种层的氧化物。远程等离子体中形成的离子、自由基和其他带电物质流过喷头,并且离子和其他带电物质可以被过滤掉使得衬底实质上暴露于还原性气体物质的自由基。金属氧化物可以与还原性气体物质的自由基或还原性气体物质本身发生反应,从而使金属氧化物转化成金属。在使金属氧化物转化成金属的条件下发生反应。金属晶种层中的金属氧化物被还原以形成与金属晶种层结合在一起的薄膜。于2013年3月6日提交的美国专利申请No.13/787,499 (代理人档案号LAMRP027) 中描述了使用还原性气体物质使金属晶种层中的金属氧化物还原成,该申请为了所有的目的并且通过引用的方式全部并入本申请中。在一些实施例中,当喷头维持在低于约30℃的温度时还原性气体物质的自由基流过喷头。

[0112] 图7C示出了在处理具有金属晶种层的衬底的多个阶段之一(例如,在步骤615a和620a)的远程等离子体设备700的剖视示意图的实例。远程等离子体设备700包括衬底710上方的远程等离子体源740以及包围远程等离子体源740的壁的一个或多个线圈744。气体入口742可以连接到远程等离子体源740以输送还原性气体物质720到远程等离子体源740的内体积中。还原性气体物质720的流速可以在约500sccm与约30,000sccm之间,这可以应用于任何衬底尺寸。在一些实施例中,还原性气体物质720可以包括 H_2 、 NH_3 、 CO 、 B_2H_6 、亚硫酸盐化合物、碳和/或烃类、亚磷酸盐和 N_2H_4 中的至少一种。应用于一个或多个线圈744的功率可以在远程等离子体源740中产生还原性气体物质720的远程等离子体。供应到线圈744的射频等离子体功率可以在约0.5kW与约6kW之间。远程等离子体可以包括还原性气体物质720的自由基,例如, H^* 、 NH^* 、 NH_2^* 或 $N_2H_3^*$ 。远程等离子体还包括离子和其他带电物质,但是喷头730可以将它们过滤掉使得还原性气体物质720的自由基到达衬底710。还原性气体物质720的自由基从远程等离子体源740流过喷头730并且到达处理室750中的衬底710的表面上。喷头730可以维持在较低的温度,例如小于约30℃。冷却的喷头730可以限制过多的热量到达衬底710并且避免损坏衬底710中的金属晶种层。

[0113] 在图7C中,衬底710可以停留在未启动位置。通过移动衬底支撑705可以调节衬底710与喷头730之间的距离 A_3 。调节距离 A_3 可以调整衬底710上进行的还原反应的速率和还原反应的均匀度。例如,更短的距离 A_3 可以导致金属氧化物更快地转化,但是均匀度更小,而更长的距离 A_3 可以导致金属氧化物更慢地转化,但是均匀度更大。在一些实施例中,距离 A_3 可以与距离 A_2 相同。可以缩回活动构件715使得衬底710与衬底支撑705保持接触,或者衬底710与衬底支撑705之间的距离 B_3 可以与图7B中的距离 B_2 相同。

[0114] 可以通过主动加热或主动冷却系统来调节衬底支撑705的温度。可以根据有待处理的衬底710上的金属晶种层来调整温度。例如,当需要在两个不同的温度模式中操作的两种不同的金属晶种层之间切换时,可以改变衬底支撑705的温度。例如,对于钴晶种层,衬底支撑705可以被加热到约250℃与约300℃之间,并且对于铜晶种层,温度被切换到约75℃与约100℃之间。

[0115] 返回图6A,在步骤625a,衬底暴露于冷却气体。冷却气体可以包括氩气、氦气和氮气中的至少一种。在一些实施例中,通过使冷的液体膨胀成气体可以产生冷却气体。使衬底暴露于冷却气体可以冷却衬底到约30℃以下的温度。因此,冷却气体可以在低于环境条件的温度下输送以冷却衬底。在一些实施例中,在衬底暴露于冷却气体之前,衬底可以通过活动构件被移动到启动位置。衬底在启动位置时可以暴露于冷却气体以更快地冷却。在一些

实施例中,在衬底暴露于冷却气体之后,衬底可以被转移到电镀设备。可替代地,衬底可以被转移到无电镀设备或其他金属沉积设备。在一些实施例中,在衬底暴露于冷却气体之后,处理室可以用通风气体被通风至大气条件。

[0116] 图7D示出了在处理具有金属晶种层的衬底的多个阶段之一(例如,在步骤625a)的远程等离子体设备700的剖视示意图的实例。远程等离子体设备700可以包括用于输送冷却气体760的一个或多个冷却气体入口722。冷却气体入口722可以被定位在衬底710的周围,包括衬底710的上方和侧边。冷却气体760可以被引导通过喷头730到达衬底710并且垂直于衬底平面。冷却气体760还可以从处理室750侧边的冷却气体入口722被引导到衬底710上并且平行于衬底平面。冷却气体760流入处理室750的流速可以在约0.1slm与约100slm之间。在转移衬底到电镀设备、无电镀设备或其他金属沉积设备之前,冷却气体入口722可以横穿衬底710吹扫冷却气体760以快速冷却衬底710。在一些实施例中,可以在不关闭或不冷却衬底支撑705的情况下冷却衬底710。这能使衬底710在单个处理室750中进行处理和冷却,而不需要使用具有单独的加热区域和冷却区域的双室设计。

[0117] 在图7D中,衬底710可以处于启动位置。喷头730与衬底710之间的距离 A_4 可以在约0.05英寸与约0.75英寸之间。在一些实施例中,距离 A_4 可以与图7A中的距离 A_1 相同。通过将衬底710定位成靠近冷的喷头730并且远离热的衬底支撑705,就能够以更快地速率冷却衬底710。活动构件715可以使衬底710远离衬底支撑705并且朝着喷头730上升。衬底支撑705与衬底710之间的距离 B_4 大于约1英寸,或者在约1英寸与约5英寸之间。在一些实施例中,距离 B_4 可以与图7A中的距离 B_1 相同。在一些实施例中,当衬底710处于启动位置并且被冷却到约室温时,处理室750可以通风到大气环境并且被转移到电镀设备、无电镀设备或其他的金属沉积设备。

[0118] 图6B示出了处理具有金属晶种层的衬底的另一种方法的示意性流程图。在方法600b的步骤605b,可以在处理室中提供具有金属晶种层的衬底,一般如方法600a的步骤605a所述。金属晶种层有一部分已经转化成金属的氧化物。

[0119] 在步骤610b,在远程等离子体源中形成还原性气体物质的远程等离子体,其中远程等离子体包括来自还原性气体物质的自由基、离子以及紫外线辐射中的一种或多种。可以增加远程等离子体的能量以产生更高能量的物质,包括更高能量的离子。可以在高密度等离子体(HDP)处理系统和/或溅射系统中产生更高能量的离子。远程等离子体由于还原性气体物质被激发还可以产生紫外线辐射。产生的紫外线辐射还可以具有约100nm与约700nm之间的波长。例如,产生的紫外线辐射可以包括短波长的紫外线光,例如,波长在约120nm与约200nm之间,以及长波长紫外线光,例如,波长在约200nm与约700nm之间。此外,远程等离子体可以包括中性物质并且/或者产生还原性气体物质的重新结合的分子。

[0120] 在步骤615b,衬底的金属晶种层暴露于远程等离子体,其中这种暴露还原了金属的氧化物并且使金属晶种层中的金属回流。在一些实施方式中,金属回流和金属氧化物还原可以同时进行。在一些实施方式中,远程等离子体可以包括来自还原性气体物质的自由基、离子和紫外线辐射或它们的组合。远程等离子体源与处理室之间的喷头可以具有一定厚度、多个孔以及一定平均直径的孔,这些孔被配置为允许自由基、离子和紫外线辐射朝着衬底流动或者说是穿过喷头。自由基、离子和紫外线辐射可以进入处理室并且还原金属晶种层中的金属氧化物。高能离子可以从衬底表面进一步穿透以在金属晶种层的更大范围内

提供还原化学反应。紫外线辐射可以激活金属氧化物表面以提高还原过程的热力学,或者直接还原金属氧化物本身。紫外线辐射还可以被还原性气体物质吸收并且产生能够还原金属氧化物的自由基。此外,还原性气体物质的中性分子可以进一步发生反应并且还原金属晶种层中的金属氧化物。

[0121] 在一些实施方式中,金属晶种层中的金属在暴露时可以被激发并活动。金属可以回流以减少金属晶种层中的间隙和孔洞,这可以减少金属晶种层的表面粗糙度。有多少金属回流可以取决于例如衬底的温度、处理室的压力、还原性气体物质以及紫外线辐射的强度。由于金属在基础层上回流并且重新分布,所以可以形成更均匀且更连续的金属晶种层。

[0122] 图8A示出了电镀装置的俯视示意图的实例。电镀设备800可以包括三个单独的电镀模块802、804和806。电镀设备800还可以包括被配置用于多种处理操作的三个单独的模块812、814和816。例如,在一些实施例中,模块812和816可以是旋转冲洗干燥(SRD)模块并且模块814可以是退火站。然而,在从远程等离子体处理暴露于还原性气体物质之后,可能没必要使用SRD模块。在一些实施例中,模块812、814和816中的至少一个可以是后电填充模块(PEM),各模块被配置为实现一种功能,例如在衬底被电镀模块802、804和806之一处理之后去除衬底的边缘倒角、在衬底的背侧蚀刻以及酸洗衬底。

[0123] 电镀设备800可以包括中央电镀室824。中央电镀室824是容纳用作电镀模块802、804和806中的电镀溶液的化学溶液的室。电镀设备800还包括配料系统826,所述配料系统可以存储并输送用于电镀溶液的添加剂。化学稀释模块822可以存储并混合用作蚀刻剂的化学制品。过滤及泵送单元828可以过滤用于中央电镀室824的电镀溶液并且将其泵送到电镀模块802、804和806。

[0124] 在一些实施例中,退火站832可以用于对衬底进行退火作为预处理。退火站832可以包括多个堆叠的退火设备,例如,五个堆叠的退火设备。退火设备在退火站832处可以布置成一个堆在另一个上、单独堆放或按照其他的多个设备的配置进行堆放。

[0125] 系统控制器830提供了操作电镀设备800所需的电子控制及接口控制。系统控制器830(可以包括一个或多个物理或逻辑控制器)控制电镀设备800的一些或全部性能。系统控制器830通常包括一个或多个存储设备以及一个或多个处理器。处理器可以包括中央处理器(CPU)或计算机、模拟和/或数字输入/输出连接、步进电机控制板等部件。用于实施本文中描述的适当的控制操作的指令可以在处理器上执行。这些指令可以存储在与系统控制器830相关联的存储设备上或者这些指令可以通过网络来提供。在某些实施例中,系统控制器830执行系统控制软件。

[0126] 电镀设备800中的系统控制软件可以包括电镀指令,用于控制定时、电镀液成分的混合、入口压力、电镀单元压力、电镀单元温度、衬底温度、施加在衬底以及任何其他电极上的电流和电势、衬底位置、衬底旋转以及电镀设备800执行的其他参数。系统控制软件可以任何合适的方式被配置。例如,可以写入多个处理工具组件的子程序或控制对象以控制处理工具组件实现多个处理工具过程所需的操作。系统控制软件可以被编码成任何合适的计算机可读的编程语言。

[0127] 在一些实施例中,系统控制软件包括用于控制上述多个参数的输入/输出控制(I/O)序列指令。例如,电镀过程的每个阶段可以包括由系统控制器830执行的一个或多个指令,并且预处理或还原过程的每个阶段可以包括由系统控制器830执行的一个或多个指

令。在电镀时,用于设置浸渍过程阶段的处理条件的指令可以被包括在对应的浸渍配方(recipe)阶段中。在预处理或还原时,用于设置使衬底暴露于远程等离子体的处理条件的指令可以被包括在对应的还原阶段配方中。在一些实施例中,电镀处理阶段和还原处理阶段可以顺序地排列,使得一个处理阶段的所有指令在这个处理阶段中被同时执行。

[0128] 在一些实施例中可以采用其他的计算机软件和/或程序。为此目的的程序或程序段的实例包括衬底定位程序、电镀液成分控制程序、压力控制程序、加热器控制程序、电势/电流电源控制程序。为此目的的程序或程序段的其他实例包括定时控制程序、活动构件定位程序、衬底支撑定位程序、远程等离子体设备控制程序、压力控制程序、衬底支撑温度控制程序、喷头温度控制程序、冷却气体控制程序以及气氛控制程序。

[0129] 在一些实施例中,可以有与系统控制器830相关联的用户界面。用户界面可以包括显示屏、所述设备和/或处理条件的图像显示软件以及用户输入设备,例如,定点设备、键盘、触控屏、麦克风等。

[0130] 用于监测处理的信号可以由系统控制器830的模拟和/或数字输入连接从多个处理工具传感器提供。用于控制处理的信号可以输出到处理工具的模拟和数字输出连接。能被监测到的处理工具传感器的非限制性实例包括质量流控制器、压力传感器(例如,压力计)、热电偶等。可以和来自这些传感器的数据一起使用适当编程的反馈和控制算法以维持处理条件,例如,衬底的温度。

[0131] 丢手(hand-off)工具840可以从例如卡匣842或卡匣844之类的衬底卡匣选择衬底。卡匣842或844可以是前开式晶片盒(FOUP)。前开式晶片盒是外壳,所述外壳被设计成将衬底牢固且安全地保持在受控的环境中并且允许通过配备有适当的装载口的工具以及机械手系统来移出衬底进行处理或测量。丢手工具840可以使用真空吸附或者一些其他的吸附机理来保持衬底。

[0132] 丢手工具840可以与退火站832、卡匣842或844、转移站850或对准器848相结合。丢手工具846可以从转移站850获取衬底。转移站850可以是这样一种狭缝或位置:丢手工具840和846在不经过对准器848的情况下可以传递衬底到所述狭缝或位置或者传递衬底离开所述狭缝或位置。在一些实施例中,然而,为了确保衬底正确地对准到丢手工具846上以便精确地传递到电镀模块,丢手工具846可以使用对准器848来对准衬底。丢手工具846还可以将衬底传递到电镀模块802、804和806之一或者传递到被配置用于多个处理操作的三个单独的模块812、814和816之一。

[0133] 在一些实施例中,远程等离子体设备可以是电镀设备800的一部分或者与所述电镀设备结合在一起。图8B示出了具有电镀设备的远程等离子体设备的放大的俯视示意图的实例。然而,本领域的技术人员会理解的是,远程等离子体设备可以可替代地连接到无电镀设备或其他金属沉积设备。图8C示出了连接到电镀装置上的远程等离子体设备的三维透视图的实例。远程等离子体设备860可以连接到电镀设备800的侧边。远程等离子体设备860可以按照使得便于高效地转移衬底到远程等离子体设备860和电镀设备800并且高效地转移衬底离开所述远程等离子体设备860和所述电镀设备800的这样一种方式连接到电镀设备800。丢手工具840可以从卡匣842和844获取衬底。丢手工具840可以将衬底传递到远程等离子体设备860以便使衬底暴露于远程等离子体处理和冷却操作。丢手工具840可以将衬底从远程等离子体设备860传递到转移站850。在一些实施例中,对准器848可以在衬底转移到电

镀模块802、804和806中的一个或者三个单独的模块812、814和816中的一个之前使衬底对准。

[0134] 在电镀设备800中执行的操作可以引入能流过前端排气口862或后端排气口864的排气。电镀设备800还可以包括用于中央电镀站824的电镀槽过滤组件866以及用于电镀模块802、804和806的电镀槽及单元泵送装置868。

[0135] 在一些实施例中,系统控制器830可以控制用于远程等离子体设备860中的处理条件的参数。这些参数的非限制性实例包括衬底支撑温度、喷头温度、衬底支撑位置、活动构件位置、冷却气体流量、冷却气体温度、处理气体流量、处理气体压力、通风气体流量、通风气体、还原气体、等离子体功率、和暴露时间、转移时间等。这些参数可以以配方的形式提供,所述配方可以利用本文中在先描述的用户界面输入。

[0136] 在作为电镀设备800的一部分的远程等离子体设备860中执行的操作可以通过计算机系统来控制。在一些实施例中,如图8A所示,计算机系统是系统控制器830的一部分。在一些实施例中,计算机系统可以包括含有程序指令的单独的系统控制器(未示出)。程序指令可以包括执行使金属氧化物还原成金属晶种层中的金属所需的所有操作的指令。程序指令还可以包括执行冷却衬底、定位衬底以及装载/卸载衬底所需的所有操作的指令。

[0137] 在一些实施例中,系统控制器可以按照图5所示的方式连接到远程等离子体设备860。在一个实施例中,传统控制器包括:用于在处理室中提供衬底的指令;用于在处理室中朝着衬底支撑移动衬底的指令;用于在远程等离子体源中形成还原性气体物质的远程等离子体的指令,其中远程等离子体包括还原性气体物质的自由基;用于使衬底的金属晶种层暴露于还原性气体物质的自由基的指令;以及用于使衬底暴露于冷却气体的指令。远程等离子体可以包括来自还原性气体物质的自由基、离子、中性物质和紫外线辐射中的一种或多种,从而导致金属晶种层暴露于来自还原性气体物质的自由基、离子、中性物质和紫外线辐射中的一种或多种。系统控制器可以进一步包括用于执行参照图5、图6A、图6B和图7A至图7D在本文中先前描述的操作的指令。

[0138] 上述设备/过程可以与光刻图案化工具或过程结合使用,例如,用于制备或制造半导体器件、显示器、LED、光伏电池板等。通常,虽然不是非必要地,这些工具/过程将在共同的制造设施中一起使用或操作。光刻图案化薄膜通常包括一些或所有的以下操作,能使用多个合适的工具来进行各操作:(1)使用旋涂工具或喷涂工具在工件,即,衬底上涂覆光致抗蚀剂;(2)使用电热板或电热炉或紫外线固化工具固化光致抗蚀剂;(3)使用例如晶片步进曝光机之类的工具使光致抗蚀剂暴露于可见光、紫外线或x射线;(4)使用例如湿式清洗台之类的工具使抗蚀剂显影以便选择性地去除抗蚀剂从而使其图案化;(5)通过使用干燥的或等离子体辅助蚀刻工具将抗蚀剂图案转移到基础薄膜或工件中;以及(6)使用例如射频或微波等离子体抗蚀剂剥离器来去除抗蚀剂。

[0139] 应当理解的是,本文中描述的配置和/或方法本质上是示例性的,并且这些具体实施例或实例不能在限制意义上加以考虑,因为可以进行多种变化。本文中描述的具体程序或方法可以表示一种或多种任意数量的处理策略。如此,图示的多个动作可以按照图示的顺序、按照其他顺序、并行地执行,或者在一些情况下被省略。同样地,可以改变上述过程的顺序。

[0140] 实例

[0141] 图9示出了暴露于远程等离子体的效果以及铜的电导率增加的条形图。在不使用远程等离子体对包括铜晶种层的衬底进行预处理的情况下,铜表面的电导率的变化几乎可以忽略不计。然而,使用远程等离子体处理被加热到75℃的衬底显著增大了铜晶种层表面的电导率。不论远程等离子体处理进行30秒、60秒还是120秒,这个效果都大致相同。因此,使用远程等离子体进行预处理将存在的氧化铜还原成纯的金属铜以增大电导率。

[0142] 图10示出了使用远程等离子体进行处理以及未使用远程等离子体进行处理的晶种沟槽试样块的扫描电镜(SEM)图。铜晶种沟槽试样块的样品暴露于远程等离子体以确定远程等离子体在还原氧化铜以及避免孔洞形成方面的有效性。每个铜晶种沟槽试样块的样品的沟槽宽度是约48nm。在提供很薄的晶种覆盖范围的晶种条件下利用边缘的铜晶种沟槽试样块。边缘的铜晶种沟槽试样块一般导致非常大的底部孔洞。边缘的铜晶种沟槽试样块表示通常不会在产品晶片中发现的极端例子,但是可以更有效地表明在还原氧化铜过程中的还原剂处理以及防止孔洞形成的能力。

[0143] 在图10中,边缘的铜晶种沟槽试样块在不暴露于远程等离子体进行预处理的情况下镀上铜。沟槽试样块最终填充不佳并且具有实质上很大的底部孔洞尺寸。然而,在镀上铜之前通过在75℃下暴露于远程等离子体60秒来进行预处理的沟槽试样块最终得到填充更好并且底部孔洞更小的沟槽试样块。因此,沟槽试样块的电镜图反映了在使用远程等离子体进行预处理之后的电镀具有改善的填充性。

[0144] 图11示出了图解在还原处理之后暴露于环境条件的金属晶种层上金属氧化物生长的曲线图。在使用远程等离子体对金属晶种层进行预处理之后,暴露于环境条件可以导致金属氧化物再次生长。图11的曲线图示出了以时间为函数的金属氧化物的再次生长迅速地发生。在头四个小时内,金属晶种层的表面可被显著氧化。因此,减少暴露于环境条件的持续时间可以显著限制金属氧化物的再次氧化。

[0145] 图12示出了在还原处理之后在环境条件中暴露不同的持续时间并且随后不进行还原处理时的晶种沟槽试样块的电镜图。第一对照条件在不进行任何预处理的情况下镀上铜。第二至最后一个条件是在使用远程等离子体预处理过的沟槽试样块上镀上铜,其中每个条件都在环境条件中暴露不同的时间量。第二条件下的沟槽试样块表现出最好的填充以及最小的底部孔洞。第二条件使用远程等离子体对沟槽试样块进行预处理并且暴露于环境条件的持续时间最短。因此,扫描电镜图反映了减少在使用远程等离子体进行预处理之后的转移时间能显著改善电镀的填充。

[0146] 图13示出了在处理室的不同条件下温度冷却曲线随时间变化的曲线图。在不同的冷却气体流速、喷头与衬底之间不同的距离以及喷头与基座之间不同的距离的条件下,从约85℃冷却衬底而获得各个冷却曲线。通过调节前述参数可以获得快速的冷却速率。例如,通过以30slm的速率输送氦气,将衬底定位成距离喷头1/8英寸并且将基座定位成距离喷头3英寸,可以用约1分钟使衬底从约85℃迅速冷却到约室温。

[0147] 图14示出了金属晶种层在进行远程等离子体处理之后的温度和表面粗糙度的效果的条形图。随着衬底的温度从约65℃增大到约100℃,50Å厚度的金属晶种层的平均表面粗糙度从0.66nm均方根(RMS)下降到约0.58nm均方根。因此,图14的条形图示出了增大的温度与更光滑的金属晶种层之间的相关性。这表明金属晶种在增大的温度回流可以导致更均匀且连续的金属晶种层。

[0148] 图15示出了金属晶种层中的温度和孔洞减少的效果的条形图。对于一些晶种层，例如铜晶种层，较低的衬底温度可以减少衬底上孔洞的百分比。

[0149] 其他实施例

[0150] 虽然为了清晰和理解的目的上文已经描述了一些细节，但是显而易见的是在所附权利要求书的范围内可以进行某些变化和修改。应该指出的是，实施所述过程、系统和设备的替代方式有很多。因此，上述实施例应当看成是说明性的而不是限制性的。

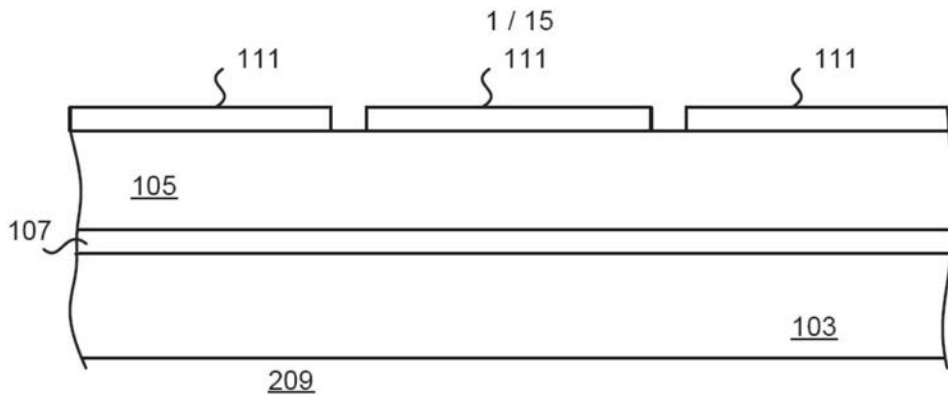


图1A

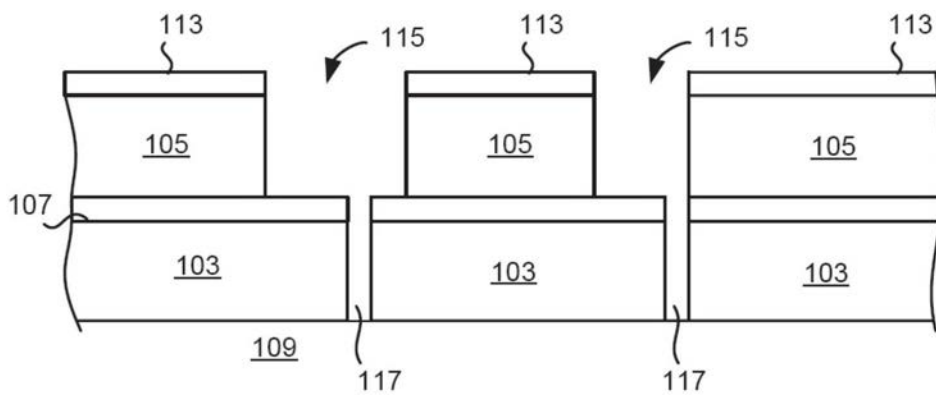


图1B

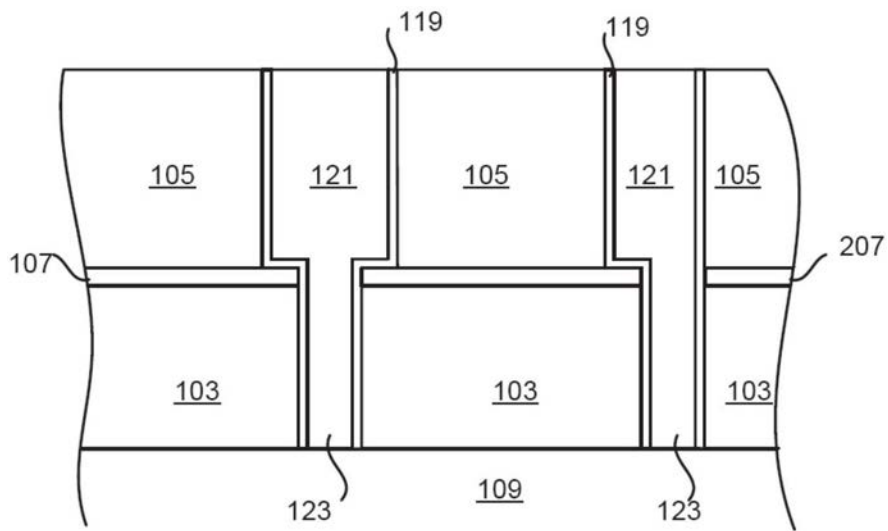


图1C

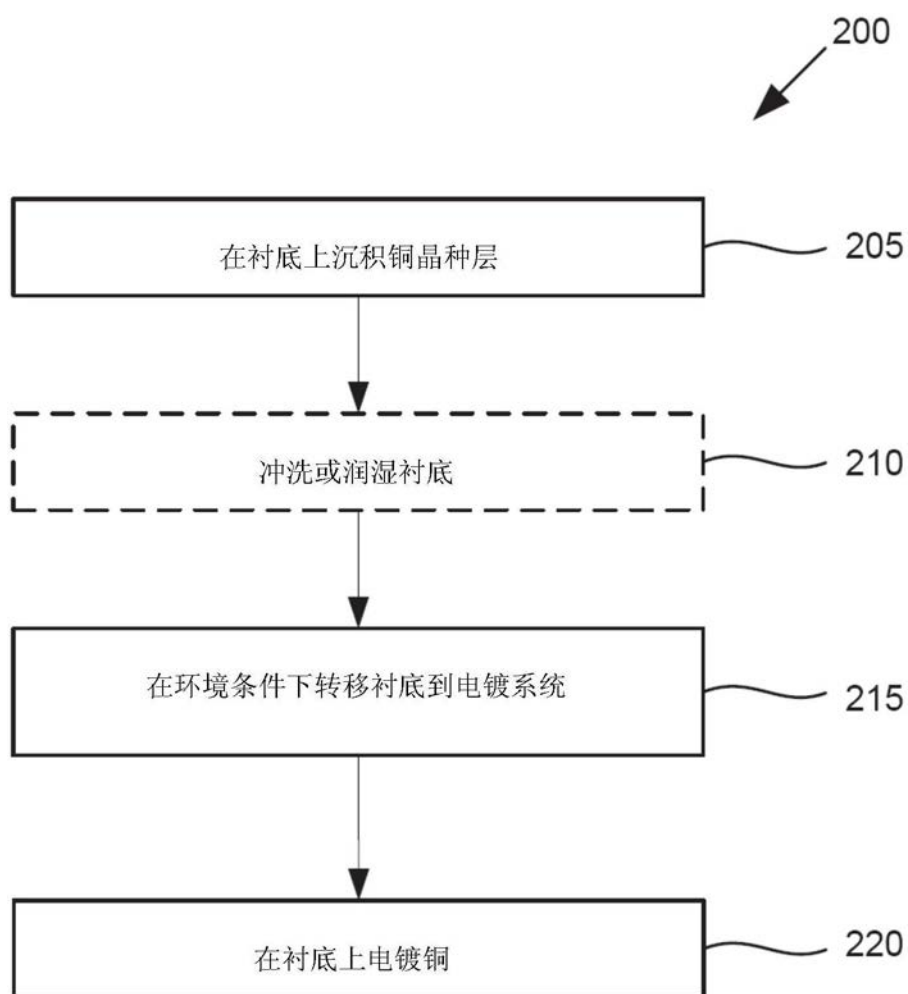


图2

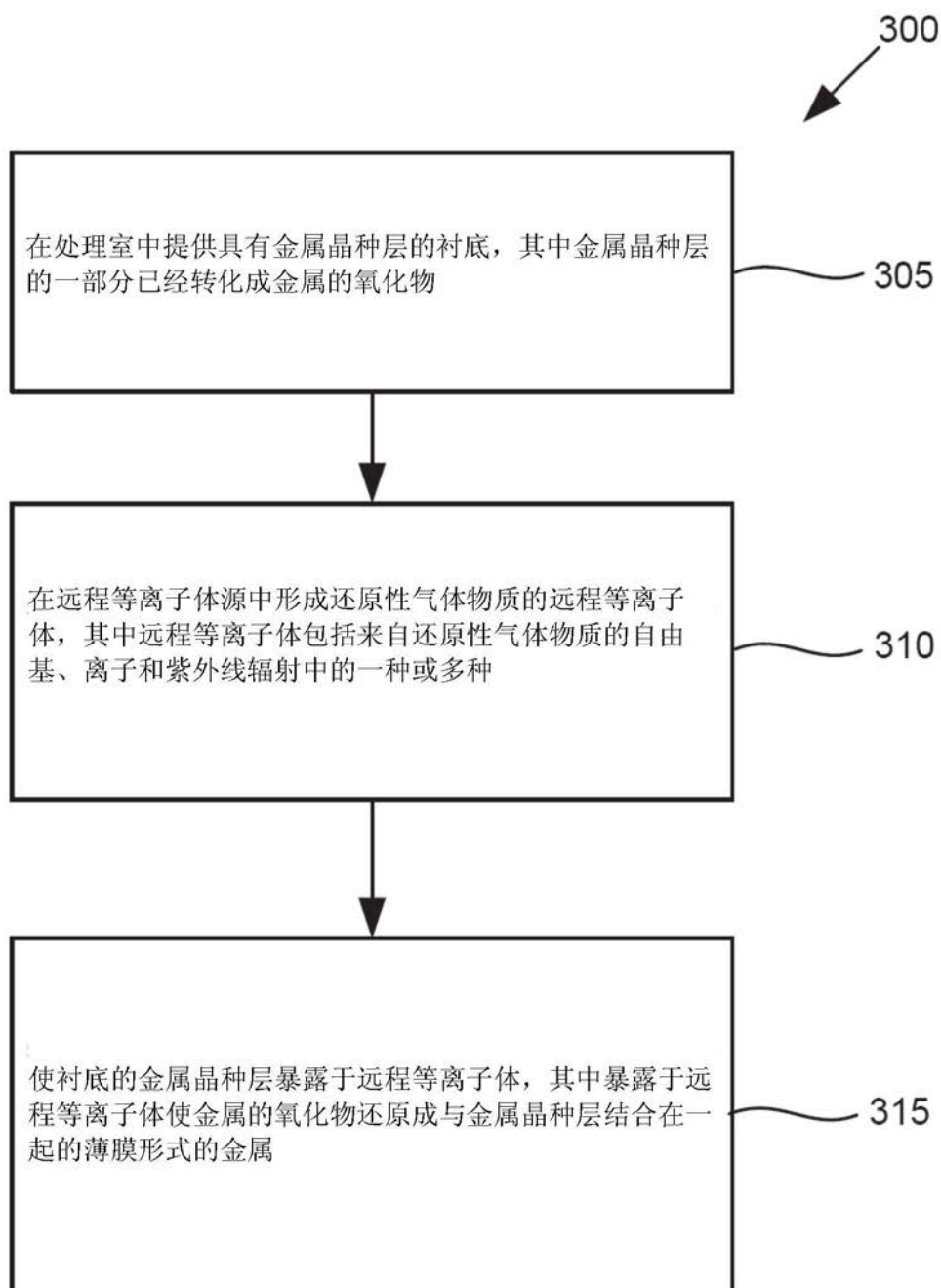


图3

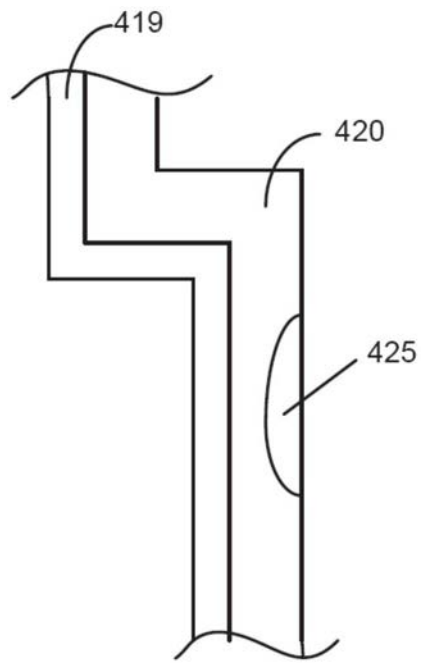


图4A

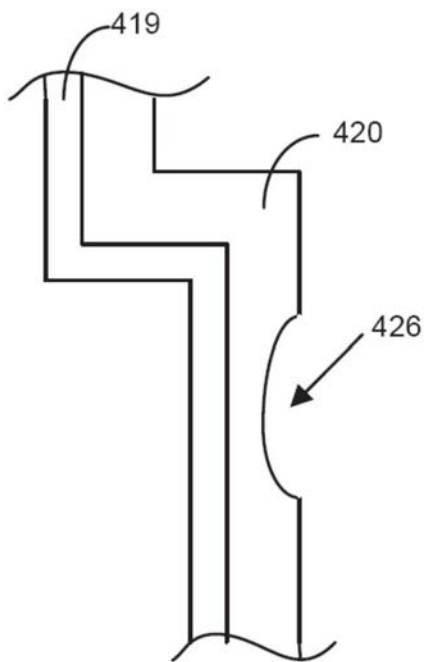


图4B

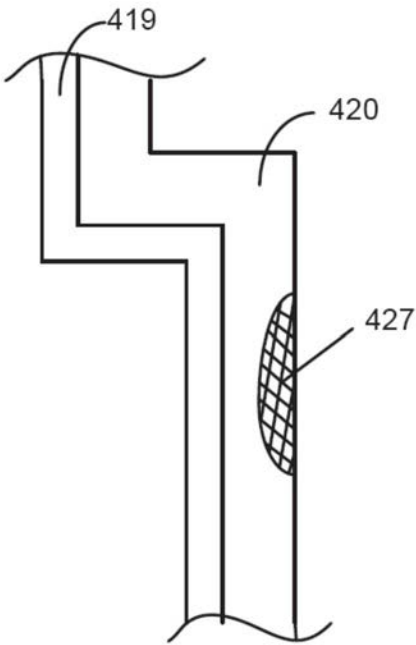


图4C

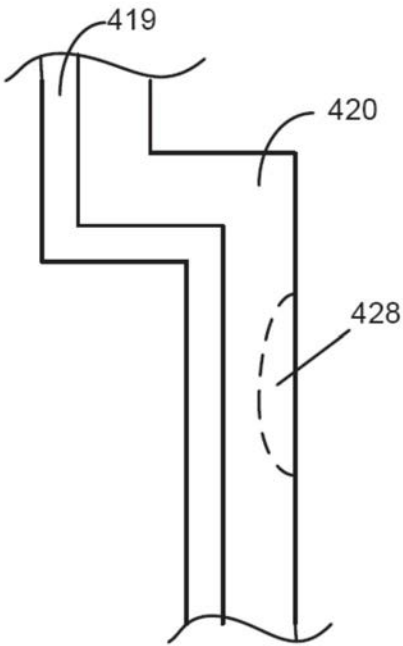


图4D

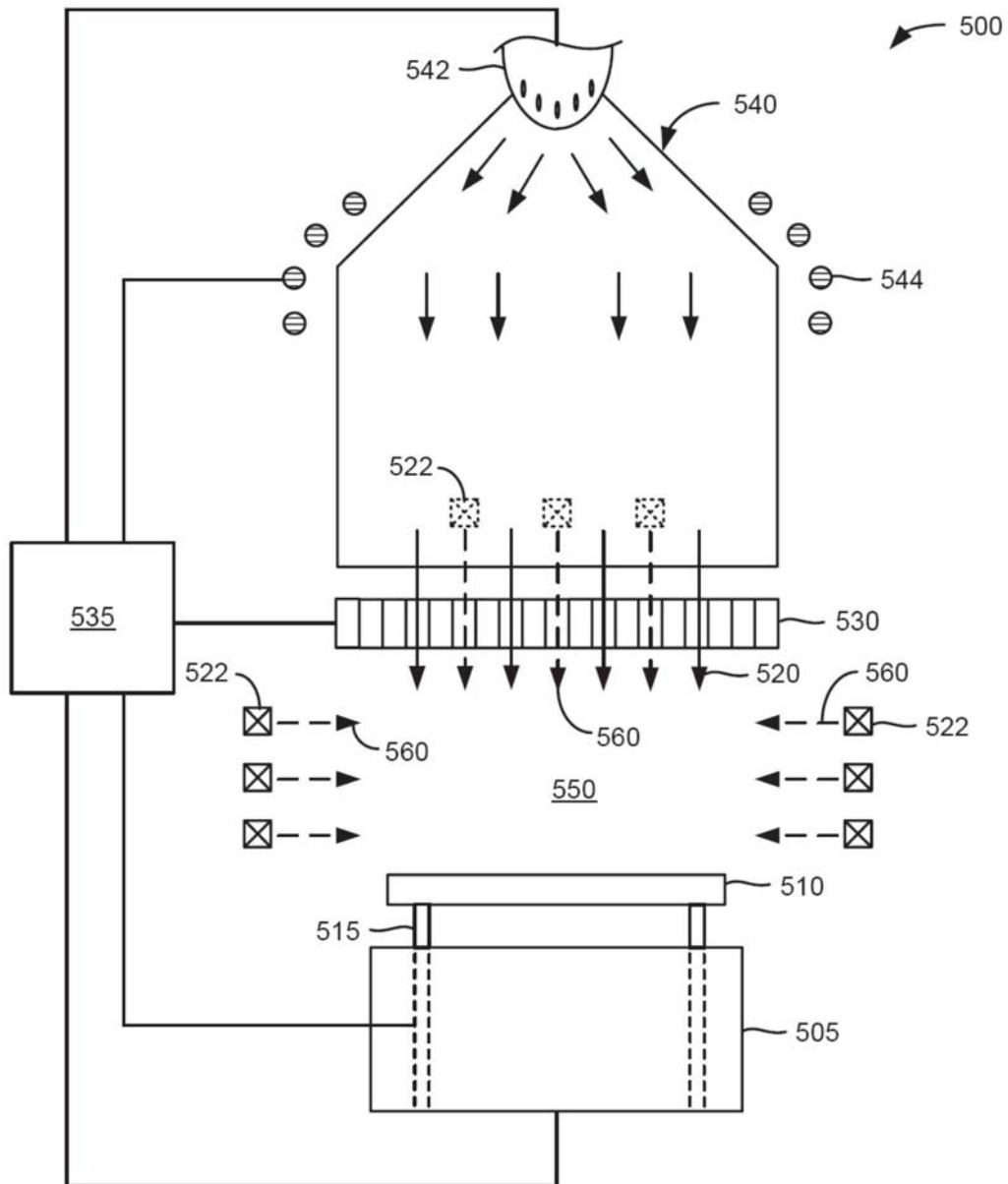


图5

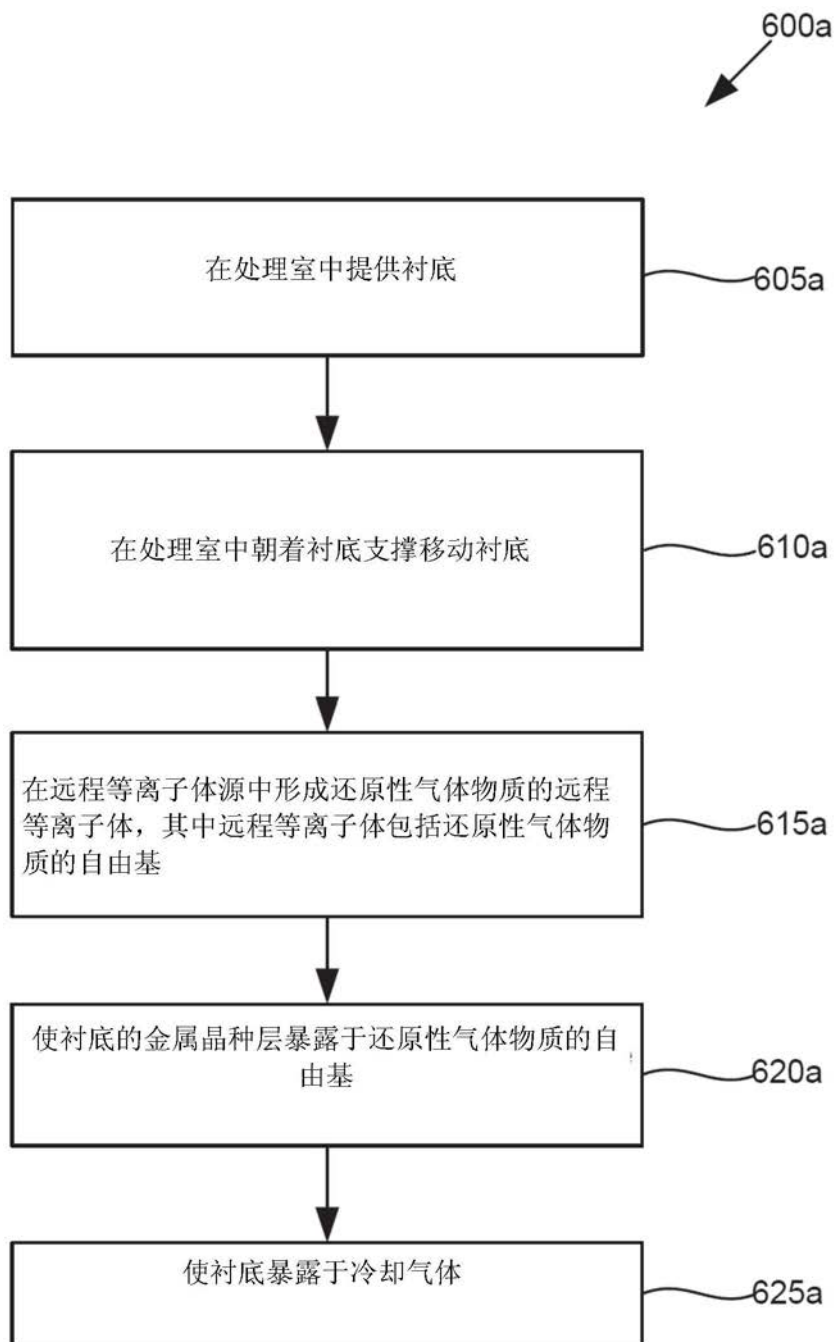


图6A

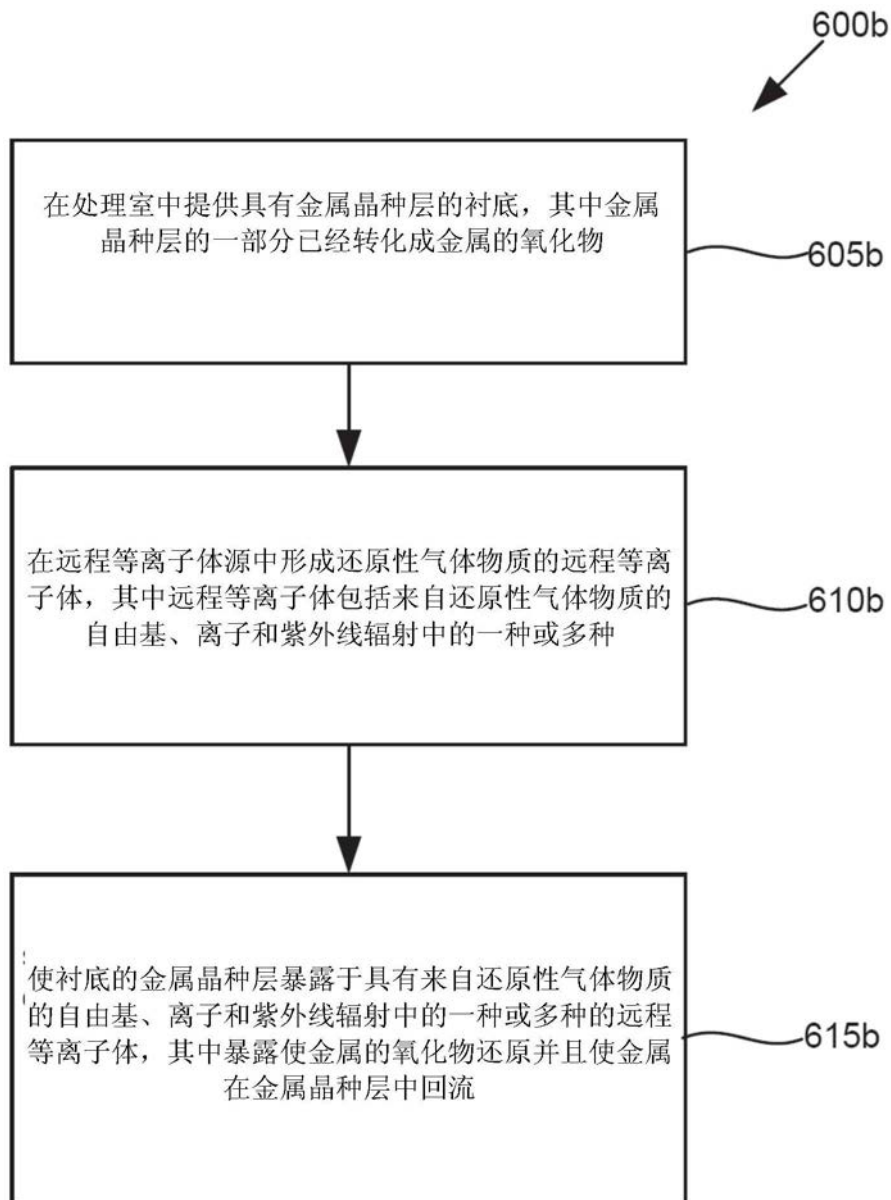


图6B

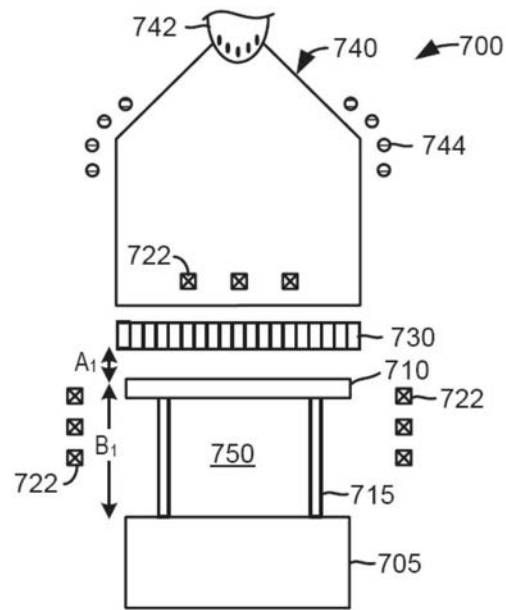


图7A

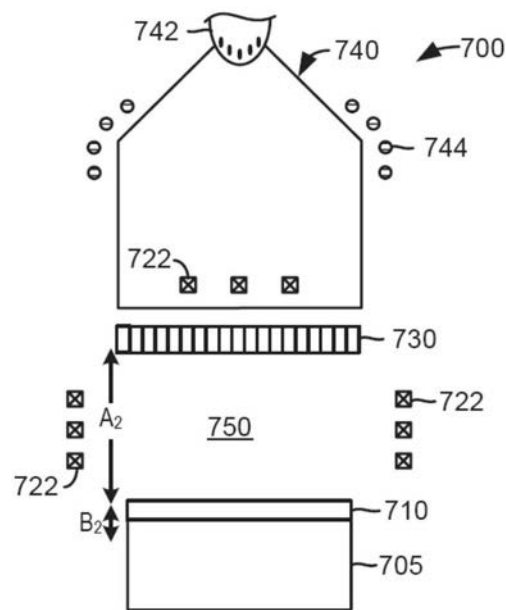


图7B

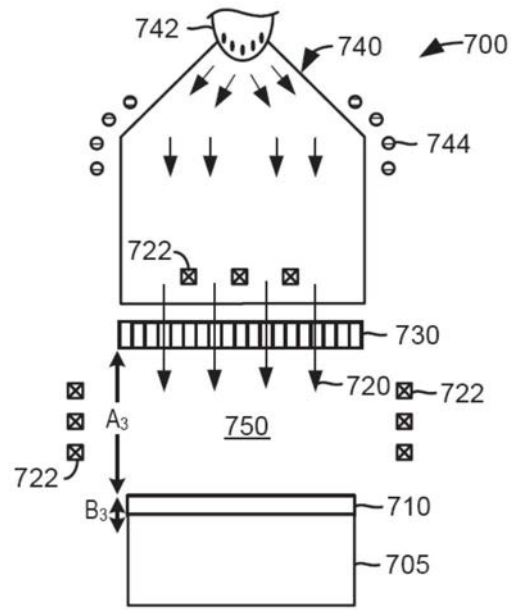


图7C

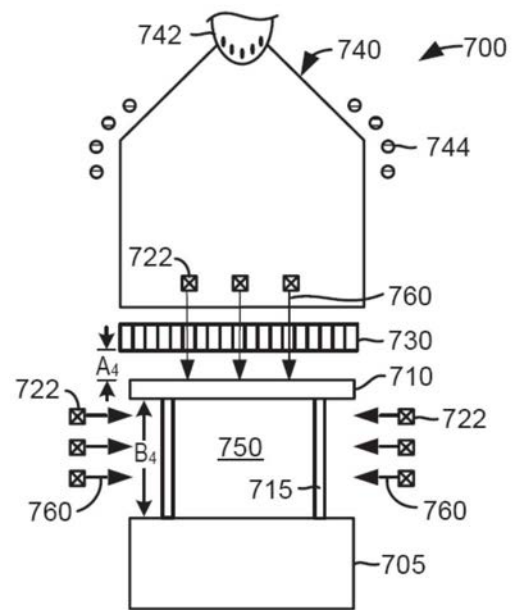


图7D

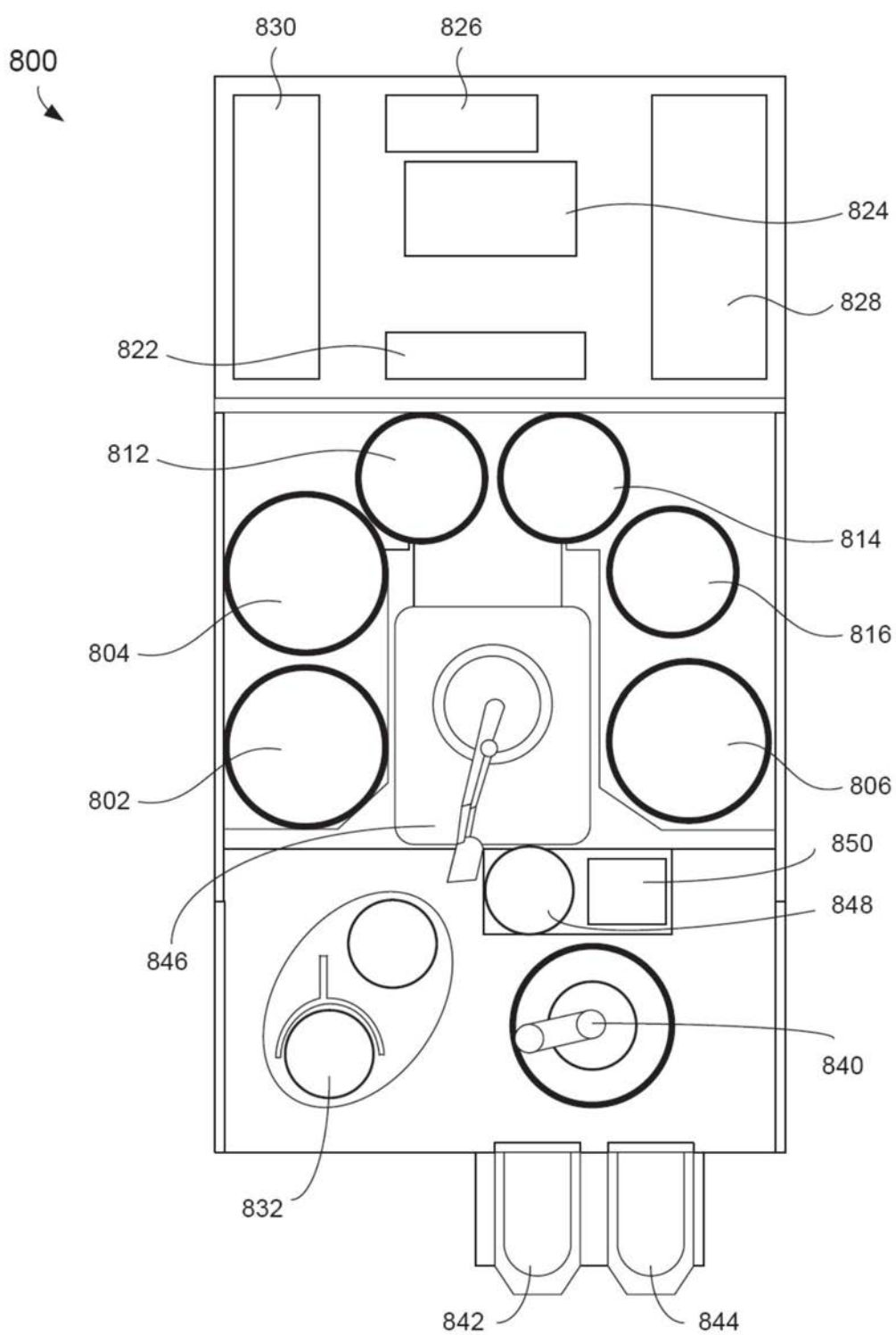


图8A

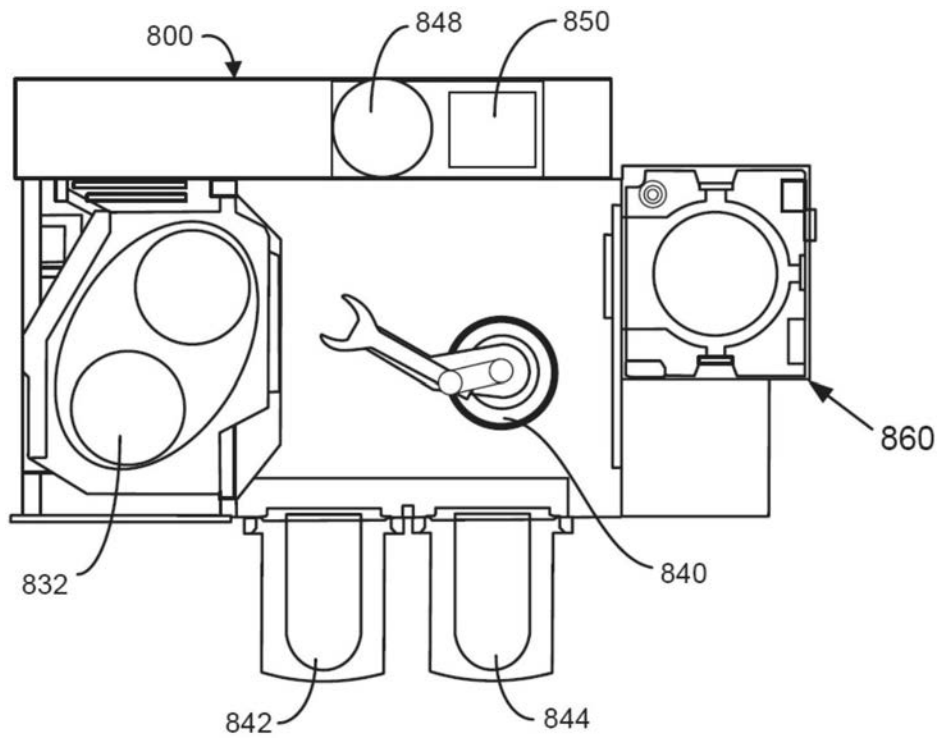


图8B

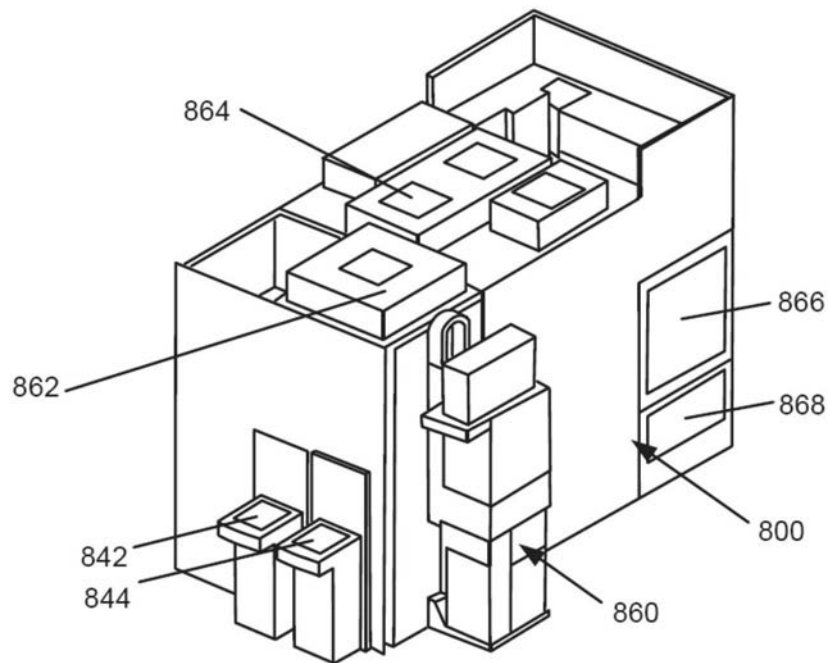


图8C

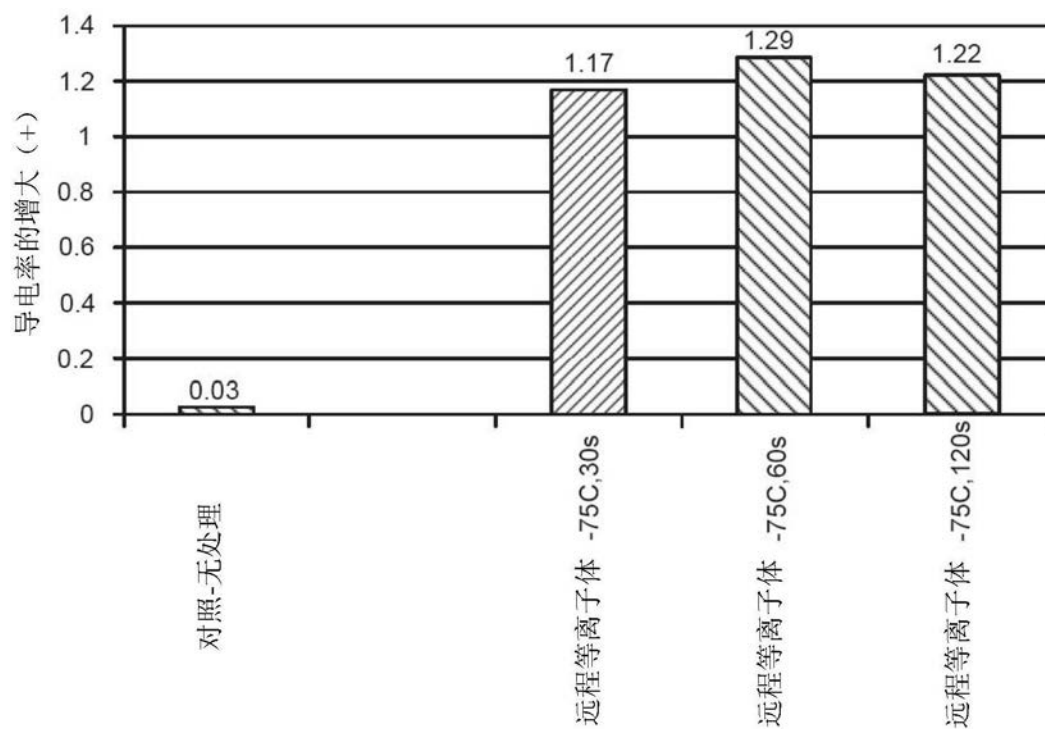


图9

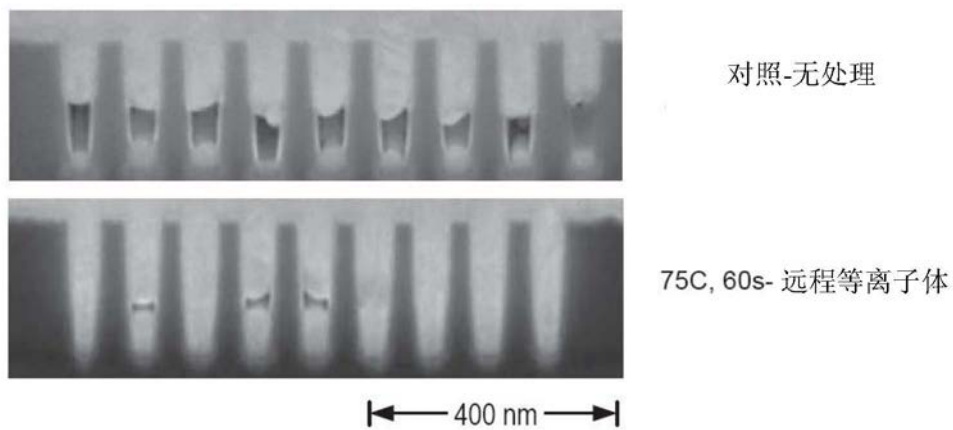


图10

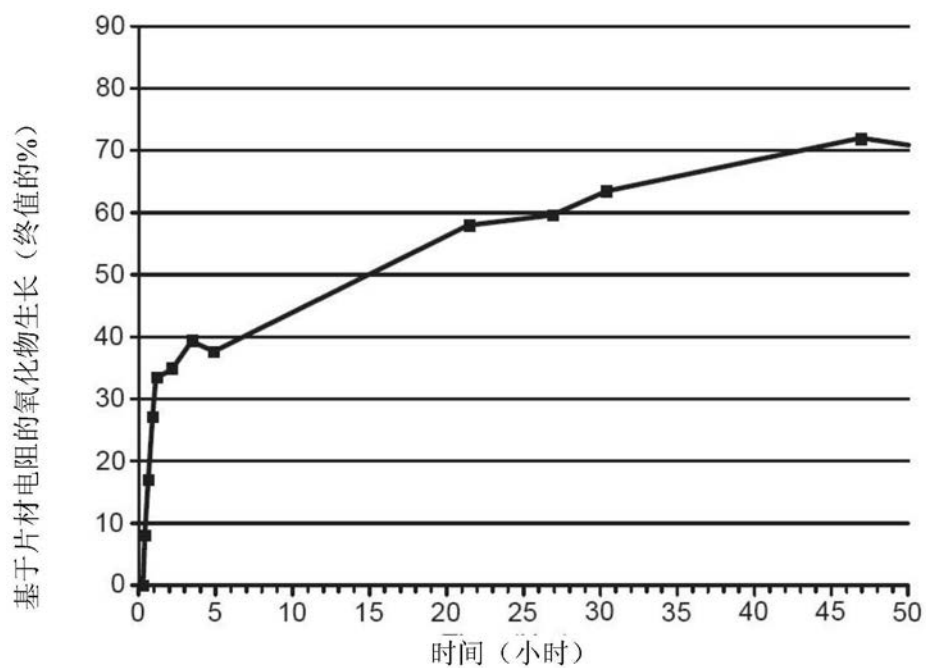


图11

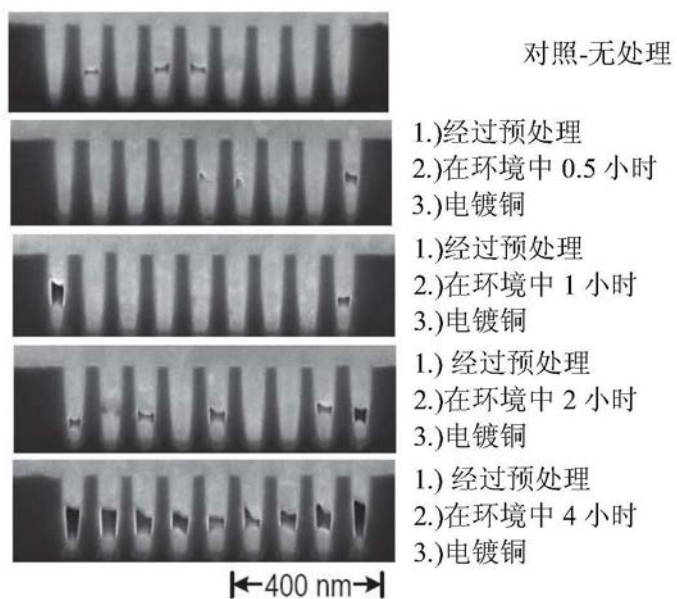


图12

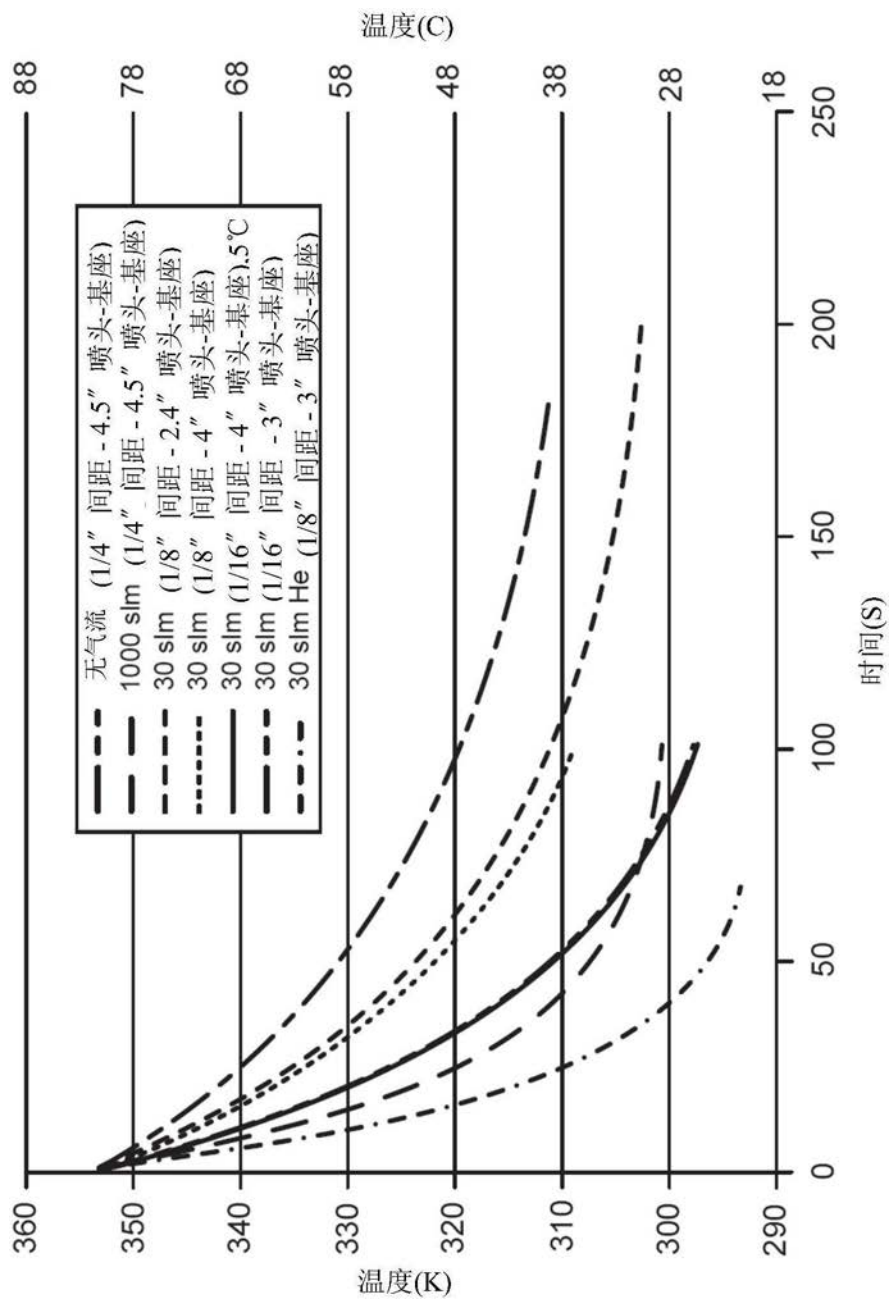


图13

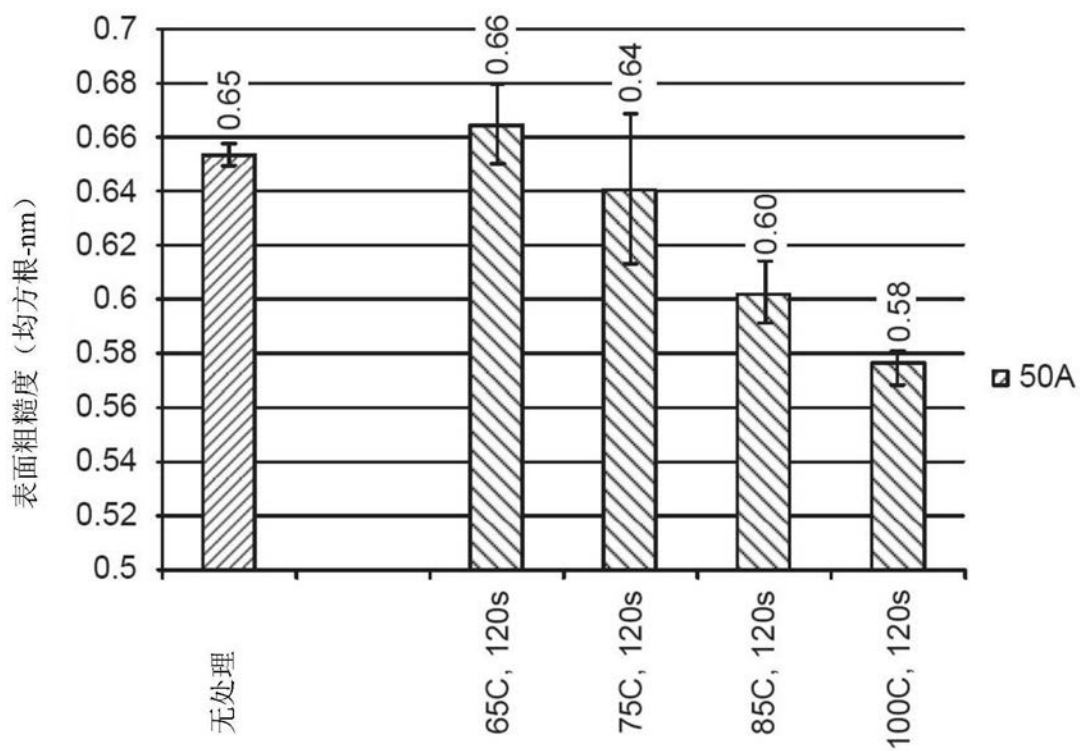


图14

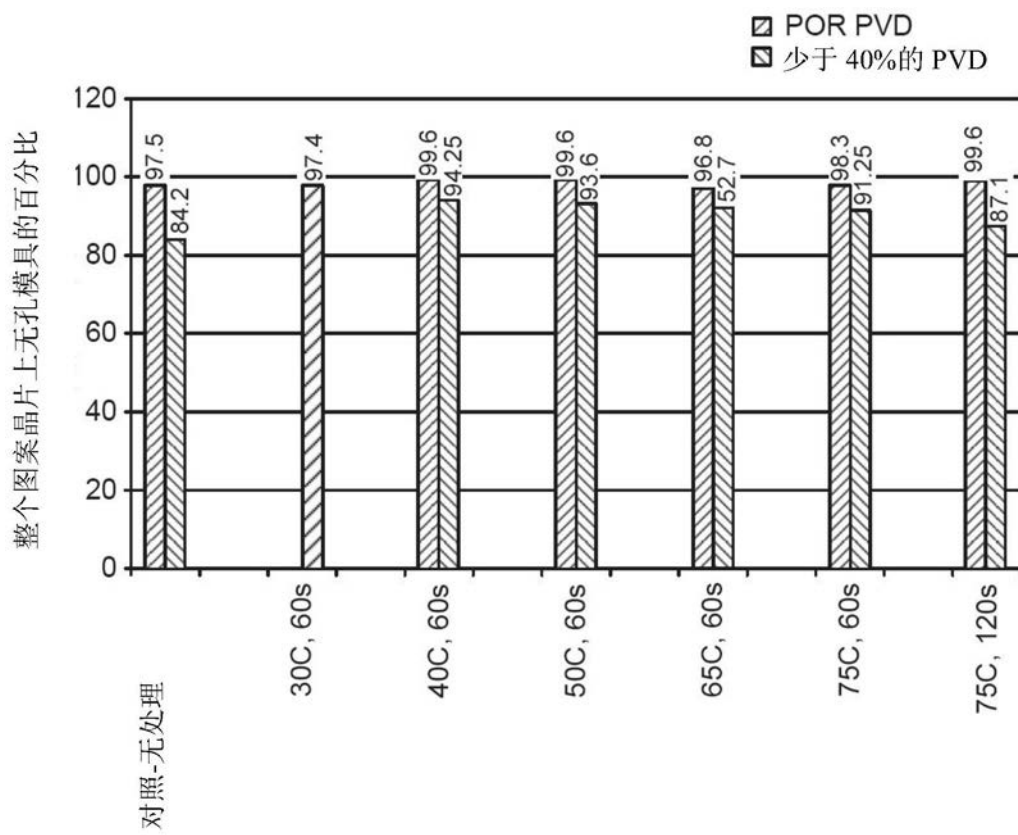


图15