



(10) 申请公布号 CN 117043674 A

(43) 申请公布日 2023. 11. 10

(21) 申请号 202280015706.8

(22) 申请日 2022.02.08

(30) 优先权数据

63/153,753 2021.02.25 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.08.17

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2022/015554 2022.02.08

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/182510 EN 2022.09.01

(71) 申请人 应用材料公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 吴半秋 哈立德·马哈姆雷

埃利亚胡·什洛莫·达甘

(74) 专利代理机构 北京律诚同业知识产权代理

有限公司 11006

专利代理师 徐金国 吴启超

(51) Int.Cl.

G03F 1/48 (2006.01)

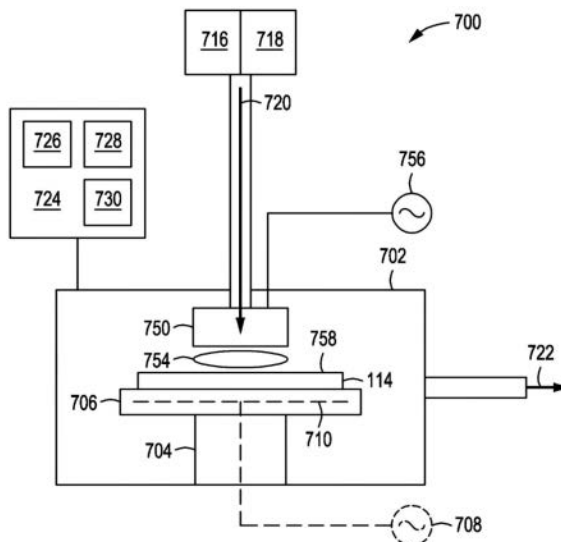
权利要求书3页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

极紫外光光掩模上氧化钪还原的方法和装置

(57) 摘要

用于还原极紫外光 (EUV) 光掩模上的氧化钪的方法和装置利用温度、等离子体和腔室压力来增加还原。在一些实施方式中,一种方法包括将具有钪 (Ru) 覆盖层的该EUV光掩模加热至约100摄氏度至该EUV光掩模的大致热预算的温度,该Ru覆盖层的顶表面具有氧化钪层;使还原剂气体流入EUV光掩模处理腔室;以及将该EUV光掩模处理腔室加压至工艺压力,以增该加还原剂气体与该Ru覆盖层上的该氧化钪层之间的还原反应。其他实施方式可以结合远程等离子体产生器或大气压等离子体产生器,以增强该Ru覆盖层上氧化钪的还原。



1. 一种用于还原极紫外光 (EUV) 光掩模上的氧化钌的方法, 包括以下步骤:
将具有钌 (Ru) 覆盖层的所述EUV光掩模加热至约100摄氏度至所述EUV光掩模的大致热预算的温度, 所述Ru覆盖层的顶表面具有氧化钌层;
使还原剂气体流入EUV光掩模处理腔室; 和
将所述EUV光掩模处理腔室加压至工艺压力, 以增加所述还原剂气体与所述Ru覆盖层上的所述氧化钌层之间的还原反应。
2. 如权利要求1所述的方法, 其中所述工艺压力从零至约150psi。
3. 如权利要求1所述的方法, 其中所述工艺压力从零至约1500psi。
4. 如权利要求1所述的方法, 其中所述EUV光掩模处理腔室是圆柱形腔室, 并且所述工艺压力从零至约2500psi。
5. 如权利要求1所述的方法, 其中所述工艺压力是通过调节进入所述EUV光掩模处理腔室的所述还原剂气体和流出所述EUV光掩模处理腔室的废气的流量来获得的。
6. 如权利要求1所述的方法, 其中所述还原剂气体是氧化碳气体、甲烷气体或氢气。
7. 如权利要求1所述的方法, 进一步包括以下步骤:
使载气与所述还原剂气体一起流动, 其中所述载气降低高浓度的爆炸性还原剂气体的挥发性。
8. 如权利要求1所述的方法, 其中所述EUV光掩模的热预算为约150摄氏度。
9. 一种用于还原极紫外光 (EUV) 光掩模上的氧化钌的方法, 包括以下步骤:
使还原剂气体和载气流入远程等离子体产生器;
使用RF功率源在所述远程等离子体产生器中产生等离子体; 和
使气体从所述远程等离子体产生器流入EUV光掩模处理腔室, 其中远程等离子体在所述EUV光掩模上方形成以在所述EUV光掩模上产生自偏压, 并且其中所述EUV光掩模处理腔室中的气体与钌 (Ru) 覆盖层上的氧化钌层反应以将所述氧化钌层还原成Ru金属。
10. 如权利要求9所述的方法, 其中所述EUV光掩模处理腔室在真空中操作。
11. 如权利要求9所述的方法, 其中所述远程等离子体产生器中的所述等离子体是电感耦合等离子体。
12. 如权利要求9所述的方法, 其中所述还原剂气体是氧化碳气体或甲烷气体, 并且所述载气是氩气、氦气或氮气。
13. 如权利要求9所述的方法, 其中所述RF功率源在13.56MHz的频率下操作。
14. 如权利要求9所述的方法, 其中所述还原剂气体是氢气, 并且将所述远程等离子体调节至可维持水平, 与此同时提供约5eV的自偏压功率水平, 从而防止将原子氢注入到所述Ru覆盖层中。
15. 如权利要求9所述的方法, 进一步包括以下步骤:
将所述EUV光掩模加热至约100摄氏度至所述EUV光掩模的大致热预算的温度。
16. 如权利要求15所述的方法, 其中所述EUV光掩模的所述热预算为约150摄氏度。
17. 一种用于还原极紫外光 (EUV) 光掩模上的氧化钌的方法, 包括以下步骤:
使还原剂气体和载气流入EUV光掩模处理腔室中的大气压 (AP) 等离子体产生器中;
使用RF功率源, 用所述AP等离子体产生器在所述EUV光掩模上方产生等离子体; 和
使所述还原剂气体和所述载气流入所述等离子体中并流到所述EUV光掩模的顶表面

上,其中所述还原剂气体与钌(Ru)覆盖层上的氧化钌层反应,以将所述氧化钌层还原成Ru金属。

18.如权利要求17所述的方法,进一步包括以下步骤:

将所述EUV光掩模加热至约100摄氏度至所述EUV光掩模的大致一热预算的温度。

19.如权利要求18所述的方法,其中所述EUV光掩模的热预算为约150摄氏度。

20.如权利要求17所述的方法,其中所述AP等离子体产生器中的所述等离子体是电介质阻挡层放电等离子体。

21.如权利要求17所述的方法,其中所述还原剂气体是一氧化碳气体、甲烷气体或氢气,并且所述载气是氩气、氦气或氮气。

22.如权利要求17所述的方法,其中所述RF功率源在13.56MHz的频率下操作。

23.一种用于还原极紫外光(EUV)光掩模上的钌(RU)氧化物的装置,包括:

EUV光掩模处理腔室,所述EUV光掩模处理腔室具有光掩模支撑件主体,所述光掩模支撑件主体附接至光掩模支撑件,当存在EUV光掩模时,所述光掩模支撑件主体支撑所述EUV光掩模;

还原剂气体供应,所述还原剂气体供应流体连接至所述EUV光掩模处理腔室;

加热器电极,所述加热器电极在所述光掩模支撑件主体中,所述加热器电极被配置为当存在所述EUV光掩模时,将所述EUV光掩模加热至约100度至约150度的范围;

第一阀,所述第一阀控制进入所述EUV光掩模处理腔室的还原剂气体;

第二阀,所述第二阀控制离开所述EUV光掩模处理腔室的废气;和

控制器,所述控制器调节所述第一阀和所述第二阀以调节所述EUV光掩模处理腔室内部的压力,其中所述压力可从0psi调节至2500psi,并且由所述控制器调节以控制还原所述EUV光掩模上的RU覆盖层上的氧化钌的还原速率。

24.一种用于还原极紫外光(EUV)光掩模上的钌(RU)氧化物的装置,包括:

EUV光掩模处理腔室,所述EUV光掩模处理腔室具有光掩模支撑件主体,所述光掩模支撑件主体附接至光掩模支撑件,当存在EUV光掩模时,所述光掩模支撑件主体支撑所述EUV光掩模;

还原剂气体供应,所述还原剂气体供应流体连接至所述EUV光掩模处理腔室;

载气供应,所述载气供应流体连接至所述EUV光掩模处理腔室;和

远程等离子体产生器,所述远程等离子体产生器流体连接至所述EUV光掩模处理腔室,其中所述远程等离子体产生器被配置为当在所述远程等离子体产生器中产生等离子体时,允许来自所述还原剂气体供应的还原剂气体和来自所述载气供应的载气流过所述远程等离子体产生器,并且随后允许所述还原剂气体、所述载气和所述等离子体流入所述EUV光掩模处理腔室以在所述EUV光掩模存在时与所述EUV光掩模相互作用,从而还原所述EUV光掩模上的RU覆盖层上的氧化钌。

25.如权利要求24所述的装置,进一步包括:

加热器电极,所述加热器电极在所述光掩模支撑件主体中,所述加热器电极被配置为当存在所述EUV光掩模时,将所述EUV光掩模加热至约100度至约150度的范围,以增强氧化钌的还原速率。

26.如权利要求25所述的装置,进一步包括:

控制器,所述控制器通过调节施加到所述远程等离子体产生器中的所述等离子体的功率,或者通过当所述EUV光掩模存在时通过调节到所述加热器电极的功率来调节所述EUV光掩模的温度,从而调节所述氧化钌的还原速率。

27. 一种用于还原极紫外光(EUV)光掩模上的钌(RU)氧化物的装置,包括:

EUV光掩模处理腔室,所述EUV光掩模处理腔室具有光掩模支撑件主体,所述光掩模支撑件主体附接至光掩模支撑件,当存在EUV光掩模时,所述光掩模支撑件主体支撑所述EUV光掩模;

还原剂气体供应,所述还原剂气体供应流体连接至所述EUV光掩模处理腔室;

载气供应,所述载气供应流体连接至所述EUV光掩模处理腔室;和

大气压(AP)等离子体产生器,所述AP等离子体产生器在所述EUV光掩模处理腔室中,其中所述AP等离子体产生器被配置为当由在所述EUV光掩模的正上方的所述AP等离子体产生器产生电介质阻挡层放电等离子体时,允许来自所述还原剂气体供应的还原剂气体和来自所述载气供应的载气流过所述AP等离子体产生器,并且随后允许所述还原剂气体和所述载气流到所述EUV光掩模的顶表面上,以还原所述EUV光掩模上的RU覆盖层上的氧化钌。

28. 如权利要求27所述的装置,进一步包括:

加热器电极,所述加热器电极在所述光掩模支撑件主体中,所述加热器电极被配置为当存在所述EUV光掩模时,将所述EUV光掩模加热至约100度至约150度的范围,以增强氧化钌的还原速率。

29. 如权利要求28所述的装置,进一步包括:

控制器,所述控制器通过调节施加到所述AP等离子体产生器中的所述电介质阻挡层放电等离子体的功率,或者通过当所述EUV光掩模存在时通过调节到所述加热器电极的功率来调节所述EUV光掩模的温度,从而调节所述氧化钌的还原速率。

极紫外光光掩模上氧化钌还原的方法和装置

[0001] 领域

[0002] 本原理的实施方式一般涉及半导体制造。

[0003] 背景

[0004] 为了减小电子器件的大小,极紫外光(extreme ultraviolet,EUV)光刻有时用于半导体行业中。EUV技术的主要缺陷是曝光工具和耗材(诸如EUV光掩模)的高昂费用。EUV包括非常短的波长,该非常短的波长比较长的波长更强地被吸收。EUV光刻使用光掩模,该光掩模过用多个交替的钼层和硅层反射光来起作用。在典型的配置中,EUV光掩模可以使用40个或更多的交替层,所述交替层经由布拉格衍射来反射EUV光。为了保护多个交替层,在顶部上方形成薄钌覆盖层。在使用期间,光刻胶由EUV光的吸收而变得被加热,该EUV光的吸收可导致烃、水和氧气的脱气。本发明人已经观察到,EUV光掩模的钌覆盖层在光刻使用时和光掩模制造工艺期间变得被氧化,从而降低了光掩模的反射率。

[0005] 因此,本发明人已经提供了用于还原在EUV光掩模的钌覆盖层上形成的氧化物的方法和装置,从而延长了光掩模的性能和寿命。

[0006] 概述

[0007] 揭示了用于减少EUV光掩模的钌覆盖层上的氧化物形成的方法和装置。

[0008] 在一些实施方式中,一种用于还原极紫外光(EUV)光掩模上的氧化钌的方法可包括将具有钌(Ru)覆盖层的该EUV光掩模加热至约100摄氏度至该EUV光掩模的大致热预算的温度,该Ru覆盖层的顶表面具有氧化钌层;使还原剂气体流入EUV光掩模处理腔室;以及将该EUV光掩模处理腔室加压至工艺压力,以增该加还原剂气体与该Ru覆盖层上的该氧化钌层之间的还原反应。

[0009] 在一些实施方式中,该方法可进一步包括,其中该工艺压力为0psi至约150psi,其中该工艺压力为0psi至约1500psi,其中该EUV光掩模处理腔室为圆柱形腔室并且该工艺压力为0psi至约2500psi,其中该工艺压力是通过调节进入EUV光掩模处理腔室的还原剂气体和流出EUV光掩模处理腔室的废气的流量来获得的,其中还原剂气体是一氧化碳气体、甲烷气体或氢气,使载气与还原剂气体一起流动,其中载气降低了高浓度的爆炸性还原剂气体的挥发性,和/或其中EUV光掩模的热预算为约150摄氏度。

[0010] 在一些实施方式中,一种用于还原EUV光掩模上的氧化钌的方法可包括使还原剂气体和载气流入远程等离子体产生器中;使用RF功率源在远程等离子体产生器中产生等离子体,以及使气体从远程等离子体产生器流入EUV光掩模处理腔室,其中在EUV光掩模上方形成远程等离子体,以在EUV光掩模上产生自偏压,并且其中EUV光掩模处理腔室中的气体与Ru覆盖层上的氧化钌层反应,以将氧化钌层还原成Ru金属。

[0011] 在一些实施方式中,该方法可进一步包括其中EUV光掩模处理腔室在真空中操作,其中远程等离子体产生器中的等离子体为电感耦合等离子体,其中还原剂气体为一氧化碳气体或甲烷气体,且载气为氩气、氦气或氮气,其中RF功率源在13.56MHz的频率下操作,其中还原剂气体为氢气并且远程等离子体被调节到可维持的水平,与此同时提供约5eV的自偏压功率水平,从而防止原子氢注入Ru覆盖层,将EUV光掩模加热至约100摄氏度至EUV光掩

模的大致热预算的温度,和/或其中EUV光掩模的热预算为约150摄氏度。

[0012] 在一些实施方式中,一种用于还原EUV光掩模上的氧化钌的方法可包括使还原剂气体和载气流入EUV光掩模处理腔室中的大气压(atmospheric-pressure,AP)等离子体产生器中;使用RF功率源,用AP等离子体产生器在EUV光掩模上方产生等离子体;以及使还原剂气体和载气流入等离子体中并流到EUV光掩模的顶表面上,其中还原剂气体与钌(Ru)覆盖层上的钌氧化物层反应,以将钌氧化物层还原成Ru金属。

[0013] 在一些实施方式中,该方法可进一步包括将该EUV光掩模加热至约100摄氏度至该EUV光掩模的大致热预算的温度,其中该EUV光掩模的热预算为约150摄氏度,其中该AP等离子体产生器中的该等离子体为电介质阻挡层放电等离子体,其中该还原剂气体为一氧化碳气体、甲烷气体或氢气,并且该载气为氩气、氦气或氮气,和/或其中该RF功率源以13.56MHz的频率操作。

[0014] 在一些实施方式中,一种用于还原EUV光掩模上的氧化钌的装置可包括:EUV光掩模处理腔室,该EUV光掩模处理腔室具有光掩模支撑件主体,该光掩模支撑件主体附接至光掩模支撑件,当存在EUV光掩模时,该光掩模支撑件主体支撑该EUV光掩模;还原剂气体供应,该还原剂气体供应流体连接至该EUV光掩模处理腔室;加热器电极,该加热器电极在该光掩模支撑件主体中,该加热器电极被配置为当存在该EUV光掩模时,将该EUV光掩模加热至约100度至约150度的范围;第一阀,该第一阀控制进入该EUV光掩模处理腔室的还原剂气体;第二阀,该第二阀控制离开该EUV光掩模处理腔室的废气;以及控制器,该控制器调节该第一阀和该第二阀以调节该EUV光掩模处理腔室内部的压力,其中该压力可从0psi调节至2500psi,并且由该控制器调节以控制还原该EUV光掩模上的Ru覆盖层上的氧化钌的还原速率。

[0015] 在一些实施方式中,一种用于还原EUV光掩模上的氧化钌的装置可包括:EUV光掩模处理腔室,该EUV光掩模处理腔室具有光掩模支撑件主体,该光掩模支撑件主体附接至光掩模支撑件,当存在EUV光掩模时,该光掩模支撑件主体支撑该EUV光掩模;还原剂气体供应,该还原剂气体供应流体连接至该EUV光掩模处理腔室;载气供应,该载气供应流体连接至该EUV光掩模处理腔室;和远程等离子体产生器,该远程等离子体产生器流体连接至该EUV光掩模处理腔室,其中该远程等离子体产生器被配置为当在该远程等离子体产生器中产生等离子体时,允许来自该还原剂气体供应的还原剂气体和来自该载气供应的载气流过该远程等离子体产生器,并且随后允许该还原剂气体、该载气和该等离子体流入该EUV光掩模处理腔室以在该EUV光掩模存在时与该EUV光掩模相互作用,从而还原该EUV光掩模上的Ru覆盖层上的氧化钌。

[0016] 在一些实施方式中,该装置可进一步包括:加热器电极,该加热器电极在该光掩模支撑件主体中,该加热器电极被配置为当存在该EUV光掩模时,将该EUV光掩模加热至约100度至约150度的范围,以增强氧化钌的还原速率;控制器,该控制器通过调节施加到该远程等离子体产生器中的该等离子体的功率,或者通过当该EUV光掩模存在时通过调节到该加热器电极的功率来调节该EUV光掩模的温度,从而调节所述氧化钌的还原速率。

[0017] 在一些实施方式中,一种用于还原EUV光掩模上的氧化钌的装置可包括:EUV光掩模处理腔室,该EUV光掩模处理腔室具有光掩模支撑件主体,该光掩模支撑件主体附接至光掩模支撑件,当存在EUV光掩模时,该光掩模支撑件主体支撑该EUV光掩模;还原剂气体供

应,该还原剂气体供应流体连接至该EUV光掩模处理腔室;载气供应,该载气供应流体连接至该EUV光掩模处理腔室;和大气压 (AP) 等离子体产生器,该AP等离子体产生器在该EUV光掩模处理腔室中,其中该AP等离子体产生器被配置为当由在该EUV光掩模的正上方的该AP等离子体产生器产生电介质阻挡层放电等离子体时,允许来自该还原剂气体供应的还原剂气体和来自该载气供应的载气流过该AP等离子体产生器,并且随后允许该还原剂气体和该载气流到该EUV光掩模的顶表面上,以还原该EUV光掩模上的Ru覆盖层上的氧化钌。

[0018] 在一些实施方式中,该装置可进一步包括:加热器电极,该加热器电极在该光掩模支撑件主体中,该加热器电极被配置为当存在该EUV光掩模时,将该EUV光掩模加热至约100度至约150度的范围,以增强氧化钌的还原速率;和/或控制器,该控制器通过调节施加到该AP等离子体产生器中的该电介质阻挡层放电等离子体的功率,或者通过当该EUV光掩模存在时通过调节到该加热器电极的功率来调节该EUV光掩模的温度,从而调节所述氧化钌的还原速率。

[0019] 下面揭示了其他及进一步的实施方式。

[0020] 附图简要说明

[0021] 通过参考附图中描绘的本原理的说明性实施方式,可以理解上面简要总结并且下面更详细论述的本原理的实施方式。然而,附图仅示出了本原理的典型实施方式,因此不应被认为是对范围的限制,因为本原理可以允许其他同等有效的实施方式。

[0022] 图1描绘了根据本发明原理的一些实施方式的EUV光掩模的俯视图和截面图。

[0023] 图2是根据本发明原理的一些实施方式还原氧化钌的方法。

[0024] 图3描绘了根据本发明原理的一些实施方式的光掩模处理腔室的截面图。

[0025] 图4图是根据本发明原理的一些实施方式还原氧化钌的方法。

[0026] 图5描绘了根据本发明原理的一些实施方式的光掩模处理腔室的截面图。

[0027] 图6是根据本发明原理的一些实施方式还原氧化钌的方法。

[0028] 图7描绘了根据本发明原理的一些实施方式的光掩模处理腔室的截面图。

[0029] 为了促进理解,在可能的情况下,使用相同的附图标记来表示附图中共享的元件。附图不是按比例绘制的,并且为了清楚起见可以简化。一个实施方式的元件和特征可以有益地结合到其他实施方式中,而无需进一步叙述。

[0030] 具体描述

[0031] 所述方法和装置能够延长EUV光刻中使用的极紫外光 (EUV) 光掩模的寿命和性能。EUV光掩模的钌 (Ru) 覆盖层上氧化物的还原增加了光掩模的反射率并降低了Ru覆盖层的电阻率,从而稳定了EUV光掩模的性能并延长了其寿命。氧化钌可能由于来自在曝光工具中的EUV吸收期间或在EUV光掩模制造期间被加热的光刻胶材料的水和氧的脱气而形成。EUV光掩模非常昂贵,并且钌覆盖层在使用期间易损坏,因此延长光掩模的寿命可以显著降低EUV相关生产的总成本。将EUV光掩模上的氧化钌还原成金属钌是困难的,因为还原反应需要高温来克服活化能。然而,EUV光掩模的热预算为约150摄氏度。本发明人已经发现,在室温和高于室温的温度下,由氢气还原氧化钌是自发的,但是从动力学上讲,使用氢气太慢而不能使氢的使用实用化,并且在一些情况下,氢气可能损坏Ru覆盖层。本发明人已经发现了几种技术来经由使用特定的还原剂气体、压力和温度提供必要的动能,以使得能够进行EUV光掩模上的氧化钌还原,与此同时维持光掩模的热预算并且与此同时在时间上足够有效,以允

许在商业环境中使用。

[0032] 在图1的俯视图100A中,描绘了EUV光掩模114的表示。作为简化的实例,但不意味着限制,EUV光掩模114具有正方形/矩形118的交叉影线图案120,该交叉影线图案将在EUV曝光工具(未图示)中被EUV光曝光。在视图100B中,描绘了EUV光掩模114的一部分的横截面。例如,基板102具有沉积在基板102上的交替的硅层104和钼层106,以形成布拉格反射器112。硅层104用作间隔层,并且钼层106用作吸收层。也可使用除钼之外的其他材料。Ru覆盖层108用于保护布拉格反射器112,因为钼可能容易被氧化。Ru覆盖层108的厚度可以为约2nm至3nm。在图1的实例中,氧化钪层110已经形成在Ru覆盖层108的顶表面上(例如,在曝光工具使用期间等)。氧化钪层110成为EUV光的吸收体,并降低了布拉格反射器112的反射率。氧化钪层110的还原将恢复反射性能,并且还增强了EUV光掩模114的寿命。

[0033] 在图2中,使用图3的截面图300中的装置描述了氧化钪还原的方法200。在方块202中,将EUV光掩模114加热至约100摄氏度至约150摄氏度的温度。温度范围的上限受到EUV光掩模114的热预算的限制。若EUV光掩模114的热预算高于150摄氏度,则温度范围可以扩展到更高的热预算。温度越高,提供的动能就越多,则氧化钪还原速率越高,从而使得能够实现更高的产量(更快的处理时间)。温度范围的下限由提供启动和维持还原反应的最小动能所需的最低温度控制。本发明人已经发现,约100摄氏度足以为氧化钪还原的活化提供动能。在一些实施方式中,EUV光掩模114可以由嵌入光掩模处理腔室302中的光掩模支撑件304的光掩模支撑件主体306中的加热器电极310加热。加热器电极310可以由交流(AC)功率源308电加热。

[0034] 在方块204中,使还原剂气体316(氧化物还原剂)和必要时可选的载气318一起流入320光掩模处理腔室302并跨过EUV光掩模114。废气流出322光掩模处理腔室302,与进入光掩模处理腔室302的气体方向相反。可选的载气318可以是惰性气体,诸如但不限于氩气、氦气或氮气等。在一些实施方式中,本发明人发现还原剂气体316可以是一氧化碳(CO)、甲烷(CH₄)、或氢气(H₂)。可选的载气318对于CO和CH₄不是必须的,但是当使用H₂时必须使用以防止高浓度H₂可能的爆炸。在一些实施方式中,可以使用其他还原剂。还原剂气体316将来自Ru覆盖层108的顶表面的氧化钪和四氧化物还原成Ru金属。当氧化物被加热到氧原子与一氧化碳气体结合产生二氧化碳的温度时,CO气体与氧化钪反应,从而将氧化钪还原成Ru金属。以经加热的氧化钪作为氧供体,CH₄气体与氧化钪反应以产生二氧化碳气体,从而将氧化钪还原成Ru金属。以经加热的氧化钪作为氧供体,H₂气体与氧化钪反应以产生水(H₂O),从而将氧化钪还原成金属钪。

[0035] 在方块206中,通过调节光掩模处理腔室302的压力来调节还原率。通过调节调节气体入口流量的第一阀312并且通过调节调节气体出口流量的第二阀314来控制压力。较高的入口流率和较低的出口流率会导致光掩模处理腔室302内的压力升高,并且压力可以相应地调节。在一些实施方式中,压力从0psi调节至约150psi。上限是基于安全地使用光掩模处理腔室302,并且可以用适当的腔室设计调节得更高以进一步增加还原率。在一些实施方式中,压力可以从0psi调节至约1500psi。在一些实施方式中,若将圆柱形压力腔室用于光掩模处理腔室302,则压力可以从0psi调节至2500psi。

[0036] 控制器324使用直接控制或替代地通过控制与光掩模处理腔室302相关联的计算机(或控制器)来控制光掩模处理腔室302的操作。在操作中,控制器324使得能够从系统收

集数据和反馈,以优化光掩模处理腔室302的性能。例如,控制器324可以控制EUV光掩模的加热、还原剂气体和可选的载气的浓度和流率,控制和调节光掩模处理腔室302内的压力的阀调等。控制器324通常包括中央处理单元(Central Processing Unit,CPU) 326、存储器328和支持电路330。CPU 326可以是可在工业环境中使用的任何形式的通用计算机处理器。支持电路330通常耦合至CPU 326,并且可以包括高速缓存、时钟电路、输入/输出子系统、电源等。诸如上述方法的软件例程可以存储在存储器328中,并且当由CPU 326执行时,将CPU 326转换成专用计算机(控制器324)。软件例程也可由远离光掩模处理腔室302定位的第二控制器(未图示)存储和/或执行。

[0037] 存储器328是包含指令的计算机可读存储介质的形式,所述指令当由CPU 326执行时促进半导体工艺及设备的操作。存储器328中的指令是程序产品的形式,诸如实施本原理的方法的程序。程序代码可以符合多种不同程序设计语言中的任何一种程序设计语言。在一个实例中,本公开内容可以被实施为存储在计算机可读存储介质上以供计算机系统使用的程序产品。程序产品的程序定义了各方面(包括本文所述的方法)的功能。说明性的计算机可读存储介质包括但不限于:不可写入的存储介质(例如,计算机内的只读存储器装置,诸如可由CD-ROM驱动器读取的CD-ROM磁盘、闪存、ROM芯片、或任何类型的固态非易失性半导体存储器),该不可写入的存储介质上永久地存储信息;以及可写入的存储介质(例如,磁盘驱动器或硬盘驱动器中的软磁盘或任何类型的固态随机存取半导体存储器),该可写入的存储介质上存储可变信息。此种计算机可读存储介质,当携带指导本文所述的方法的功能的计算机可读指令时,是本原理的各方面。

[0038] 在图4中,使用图5的截面图500中的装置描述了氧化钌还原的方法400。在方块402中,将EUV光掩模114视情况加热至约100摄氏度至约150摄氏度的温度。温度范围的上限受到EUV光掩模114的热预算的限制。若EUV光掩模114的热预算高于150摄氏度,则温度范围可以扩展到更高的热预算。温度越高,提供的动能就越多,则氧化钌还原速率越高,从而使得能够实现更高的产量。温度范围的下限由提供启动和维持还原反应的最小动能所需的最低温度控制。本发明人已经发现,约100摄氏度足以为氧化钌还原的活化提供动能。在一些实施方式中,EUV光掩模114可以由嵌入在光掩模处理腔室502中的光掩模支撑件504的光掩模支撑件主体506中的可选加热器电极510加热。可选加热器电极510可以由交流功率源508电加热。是否使用可选加热器电极510取决于氧化钌还原率。当还原率通过等离子体功率被增强而足够高时,可选加热器电极510是不必要的。

[0039] 在方块404中,使还原剂气体516和载气518一起流入520远程等离子体产生器532。在方块406中,由远程等离子体产生器532产生等离子体。远程等离子体产生器532具有一个或多个线圈540,以在等离子体管道534中的远程等离子体产生器532中产生电感耦合等离子体或环形等离子体。等离子体功率源542向远程等离子体产生器532供应RF功率以产生等离子体536。在一些实施方式中,RF功率在13.56MHz的频率下操作。较高的RF功率在等离子体536内提供了更多的能量,此随后为发生在光掩模处理腔室502内的氧化物还原提供了更多的能量。若RF功率太高,则产生的热量可能超过EUV光掩模114的热预算和/或对EUV光掩模114造成电弧损坏。

[0040] 在方块408中,使还原剂气体和载气流入光掩模处理腔室,以与氧化钌反应并将氧化钌还原成Ru金属。还原剂气体516可在等离子体536内离解并产生离子或中性粒子,该离

子或中性粒子与还原剂气体516和载气518一起流过等离子体管道534并进入光掩模处理腔室502。远程等离子体538存在于光掩模处理腔室502中,但是通常比远程等离子体产生器532中产生的等离子体536弱得多。远程等离子体538引发EUV光掩模114上的自偏压,以帮助将氧化钌还原成Ru金属。EUV光掩模114的自偏压导致了EUV光掩模114的氧化钌的顶表面上的离子和/或中性粒子轰击。轰击可能很弱,但是该轰击足以增强氧化钌的还原,以有助于提高还原率,从而逐渐去除氧化钌层。光掩模处理腔室502在处理期间保持在真空下。随后,废气流出522光掩模处理腔室502。

[0041] 载气518可以是惰性气体,诸如但不限于氩气、氦气或氮气等。在一些实施方式中,本发明人发现还原剂气体516可以是一氧化碳(CO)、甲烷(CH₄)、或氢气(H₂)。在一些实施方式中,可以使用其他还原剂。当氧化物被加热到氧原子与一氧化碳气体结合产生二氧化碳的温度时,CO气体与氧化钌反应,从而将氧化钌还原成Ru金属。以经加热的氧化钌作为氧供体,CH₄气体与氧化钌反应以产生二氧化碳气体,从而将氧化钌还原成Ru金属。以经加热的氧化钌作为氧供体,H₂气体与氧化钌反应以产生水(H₂O),从而将氧化钌还原成金属钌。本发明人已发现,当还原剂气体是H₂时,H₂将被等离子体536解离成原子氢(H)。随后,原子氢将轰击EUV光掩模114,并可能在某些条件下将H注入Ru覆盖层,从而造成损伤。也已知原子氢会导致分层,并可能导致Ru覆盖层剥离。本发明人发现使用氢气需要小心控制处理环境。在一些实施方式中,使用远程等离子体获得的自偏压功率通常为约10电子伏特(eV)至约20eV。若等离子体经调节为使得自偏压功率可以被控制到小于5eV,则可以防止原子氢注入。然而,本发明人已经发现,在5eV或更低的自偏压功率下,等离子体变得不稳定并且不可持续。实现接近但高于5eV的严格控制和监测可以提供可持续的等离子体,而不会导致氢注入Ru覆盖层,从而允许在一些条件下使用氢气。

[0042] 控制器524使用直接控制或替代地通过控制与光掩模处理腔室502相关联的计算机(或控制器)来控制光掩模处理腔室502的操作。在操作中,控制器524使得能够从系统收集数据和反馈,以优化光掩模处理腔室502的性能。例如,控制器524可以控制EUV光掩模的加热、还原剂气体和载气的浓度和流率、等离子体功率和随后的自偏压功率等。控制器524通常包括中央处理单元(CPU) 526、存储器528和支持电路530。CPU 526可以是可在工业环境中使用的任何形式的通用计算机处理器。支持电路530通常耦合至CPU 526,并且可以包括高速缓存、时钟电路、输入/输出子系统、电源等。诸如上述方法的软件例程可以存储在存储器528中,并且当由CPU 526执行时,将CPU 526转换成专用计算机(控制器524)。软件例程也可由远离光掩模处理腔室502定位的第二控制器(未图示)存储和/或执行。

[0043] 存储器528是包含指令的计算机可读存储介质的形式,所述指令当由CPU 526执行时促进半导体工艺及设备的操作。存储器528中的指令是程序产品的形式,诸如实施本原理的方法的程序。程序代码可以符合多种不同程序设计语言中的任何一种程序设计语言。在一个实例中,本公开内容可以被实施为存储在计算机可读存储介质上以供计算机系统使用的程序产品。程序产品的程序定义了各方面(包括本文所述的方法)的功能。说明性的计算机可读存储介质包括但不限于:不可写入的存储介质(例如,计算机内的只读存储器装置,诸如可由CD-ROM驱动器读取的CD-ROM磁盘、闪存、ROM芯片、或任何类型的固态非易失性半导体存储器),该不可写入的存储介质上永久地存储信息;以及可写入的存储介质(例如,磁盘驱动器或硬盘驱动器中的软磁盘或任何类型的固态随机存取半导体存储器),该可写入

的存储介质上存储可变信息。此种计算机可读存储介质，当携带指导本文所述的方法的功能的计算机可读指令时，是本原理的各方面。

[0044] 在图6中，描述了在非真空环境中使用图7的截面图700中的装置还原氧化钌的方法600。在方块602中，将EUV光掩模114视情况加热至约100摄氏度至约150摄氏度的温度。温度范围的上限受到EUV光掩模114的热预算的限制。若EUV光掩模114的热预算高于150摄氏度，则温度范围可以扩展到更高的热预算。温度越高，提供的动能就越多，则氧化钌还原速率越高，从而使得能够实现更高的产量。温度范围的下限由提供启动和维持还原反应的最小动能所需的最低温度控制。本发明人已经发现，约100摄氏度足以提供用于氧化钌还原的动能。在一些实施方式中，EUV光掩模114可以由嵌入在光掩模处理腔室702中的光掩模支撑件704的光掩模支撑件主体706中的加热器电极710加热。加热器电极710可以由交流功率源708电加热。是否使用可选加热器电极710取决于氧化钌还原率。当还原率通过等离子体功率被增强而足够高时，可选加热器电极710是不必要的。

[0045] 在方块604中，使还原剂气体716和载气718一起穿过大气压 (AP) 等离子体产生器750流入720光掩模处理腔室702，该AP等离子体产生器紧邻EUV光掩模的顶表面758。在方块606中，由AP等离子体产生器750产生电介质阻挡层放电 (dielectric barrier discharge, DBD) 等离子体754，以将氧化钌还原成Ru金属。等离子体功率源756向AP等离子体产生器750供应RF功率，以产生DBD等离子体754。在一些实施方式中，RF功率在13.56MHz的频率下操作。较高的RF功率在DBD等离子体754中提供了更多的能量，此可以将更多的能量提供到氧化钌中。若RF功率太高，则由于AP等离子体产生器750紧邻EUV光掩模114的顶表面758，所产生的热量可能超过EUV光掩模114的热预算和/或对EUV光掩模114造成电弧损坏。随后，废气流出722光掩模处理腔室702。载气718可以是惰性气体，诸如但不限于氩气、氦气或氮气等。在一些实施方式中，本发明人发现还原剂气体716可以是一氧化碳(CO)、甲烷(CH₄)、或氢气(H₂)。在一些实施方式中，可以使用其他还原剂。当氧化物被加热到氧原子与一氧化碳气体结合产生二氧化碳的温度时，CO气体与氧化钌反应，从而将氧化钌还原成Ru金属。以经加热的氧化钌作为氧供体，CH₄气体与氧化钌反应以产生二氧化碳气体，从而将氧化钌还原成Ru金属。以经加热的氧化钌作为氧供体，H₂气体与氧化钌反应以产生水(H₂O)，从而将氧化钌还原成金属钌。AP等离子体气体具有比远程真空等离子体小得多的平均自由程，因此在没有H₂注入的情况下轰击是低的，但是轰击能量高到足以由还原剂增强氧化钌的还原。

[0046] 控制器724使用直接控制或替代地通过控制与光掩模处理腔室702相关联的计算机(或控制器)来控制光掩模处理腔室702的操作。在操作中，控制器724使得能够从系统收集数据和反馈，以优化光掩模处理腔室702的性能。例如，控制器324可以控制EUV光掩模的加热、还原剂气体和载气的浓度和流率、供应以形成等离子体的RF功率等。控制器724通常包括中央处理单元(CPU) 726、存储器728和支持电路730。CPU 726可以是可在工业环境中使用的任何形式的通用计算机处理器。支持电路730通常耦合至CPU 726，并且可以包括高速缓存、时钟电路、输入/输出子系统、电源等。诸如上述方法的软件例程可以存储在存储器728中，并且当由CPU 726执行时，将CPU 726转换成专用计算机(控制器724)。软件例程也可由远离光掩模处理腔室702定位的第二控制器(未图示)存储和/或执行。

[0047] 存储器728是包含指令的计算机可读存储介质的形式，所述指令当由CPU 726执行时促进半导体工艺及设备的操作。存储器728中的指令是程序产品的形式，诸如实施本原理

的方法的程序。程序代码可以符合多种不同程序设计语言中的任何一种程序设计语言。在一个实例中,本公开内容可以被实施为存储在计算机可读存储介质上以供计算机系统使用的程序产品。程序产品的程序定义了各方面(包括本文所述的方法)的功能。说明性的计算机可读存储介质包括但不限于:不可写入的存储介质(例如,计算机内的只读存储器装置,诸如可由CD-ROM驱动器读取的CD-ROM磁盘、闪存、ROM芯片、或任何类型的固态非易失性半导体存储器),该不可写入的存储介质上永久地存储信息;以及可写入的存储介质(例如,磁盘驱动器或硬盘驱动器中的软磁盘或任何类型的固态随机存取半导体存储器),该可写入的存储介质上存储可变信息。此种计算机可读存储介质,当携带指导本文所述的方法的功能的计算机可读指令时,是本原理的各方面。

[0048] 根据本原理的实施方式可以用硬件、固件、软件或其任意组合来实施。实施方式还可以实施为使用一个或多个计算机可读介质存储的指令,所述指令可以由一个或多个处理器读取及执行。计算机可读介质可以包括用于以机器(例如,计算平台或在一个或多个计算平台上运行的“虚拟机”)可读的形式存储或传输信息的任何机构。例如,计算机可读介质可包括任何合适形式的易失性或非易失性存储器。在一些实施方式中,计算机可读介质可以包括非暂时性计算机可读介质。

[0049] 尽管前面是针对本原理的实施方式,但是在不脱离本原理的基本范围的情况下,可以设计本原理的其他及进一步的实施方式。

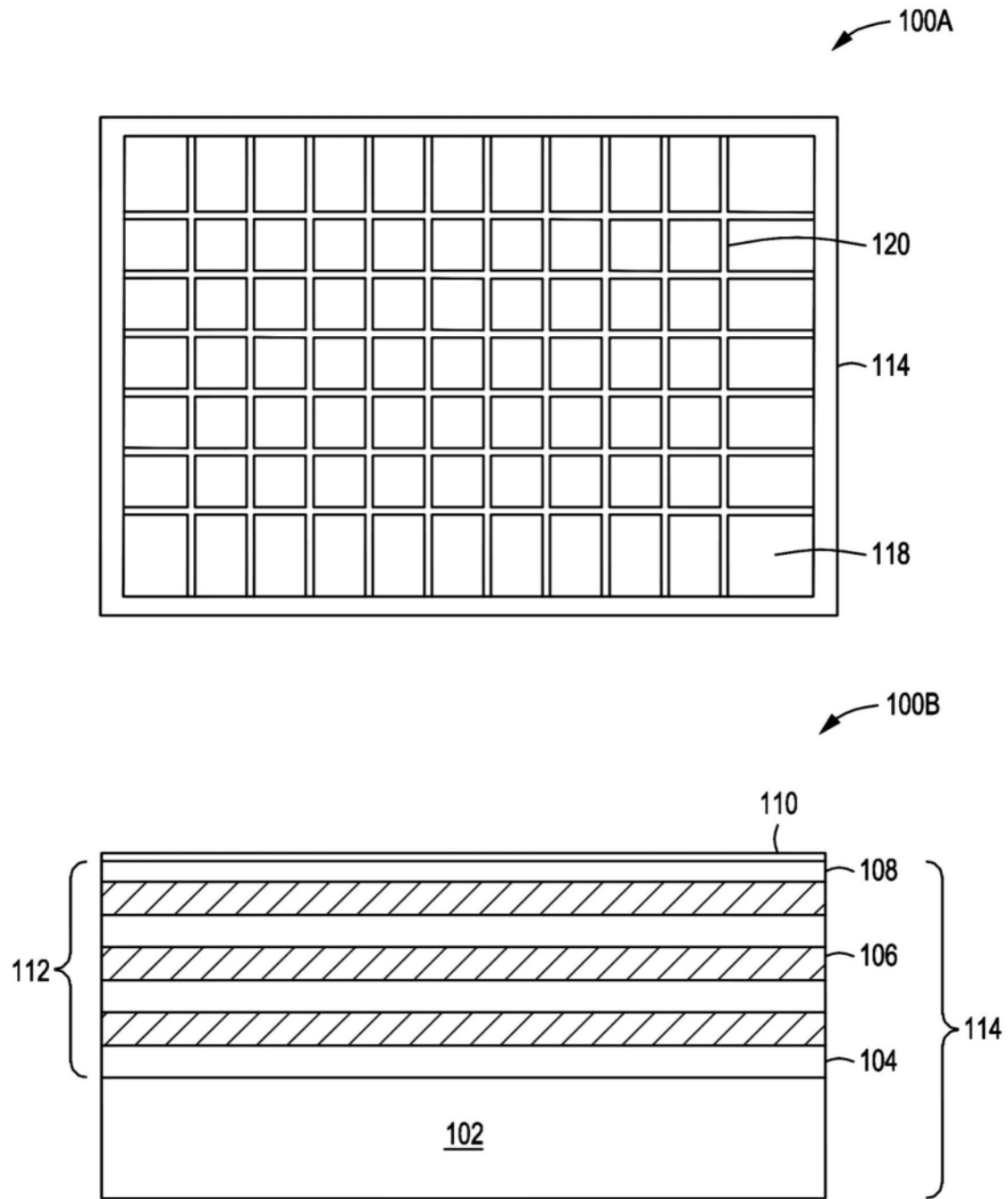


图1

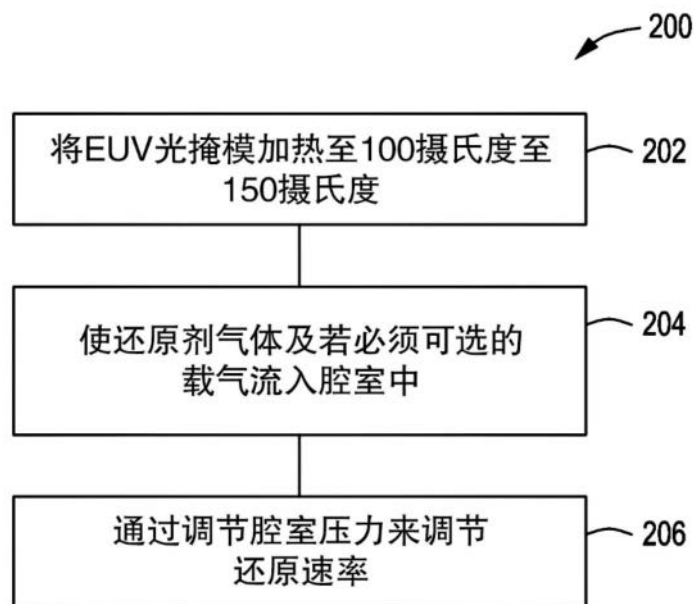


图2

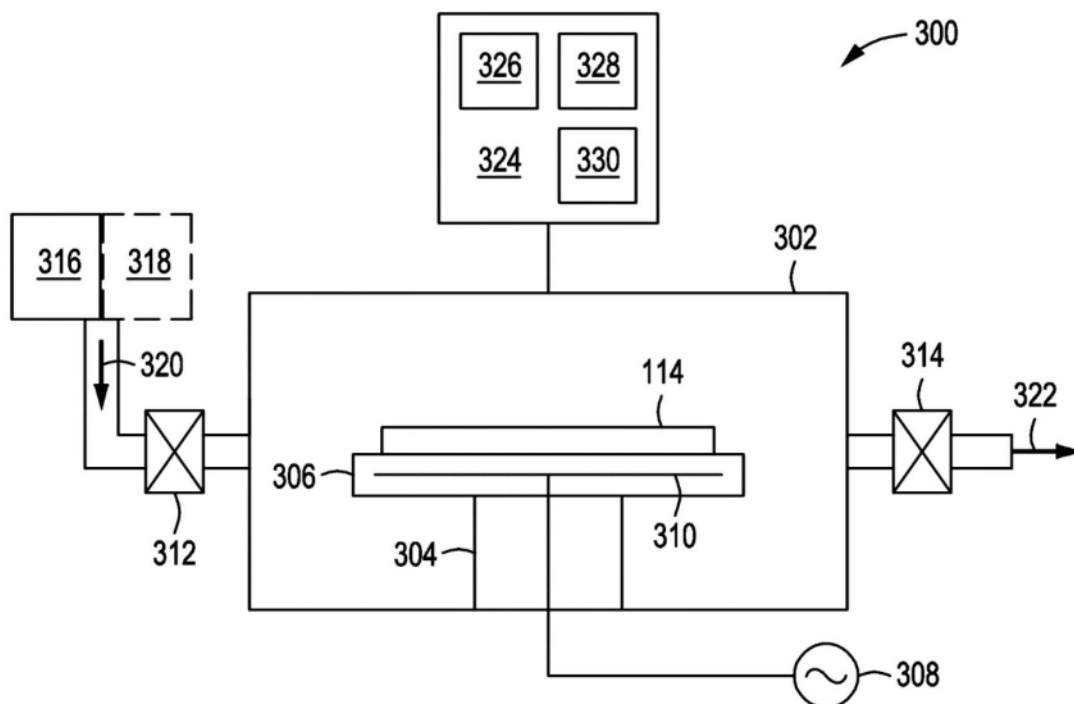


图3

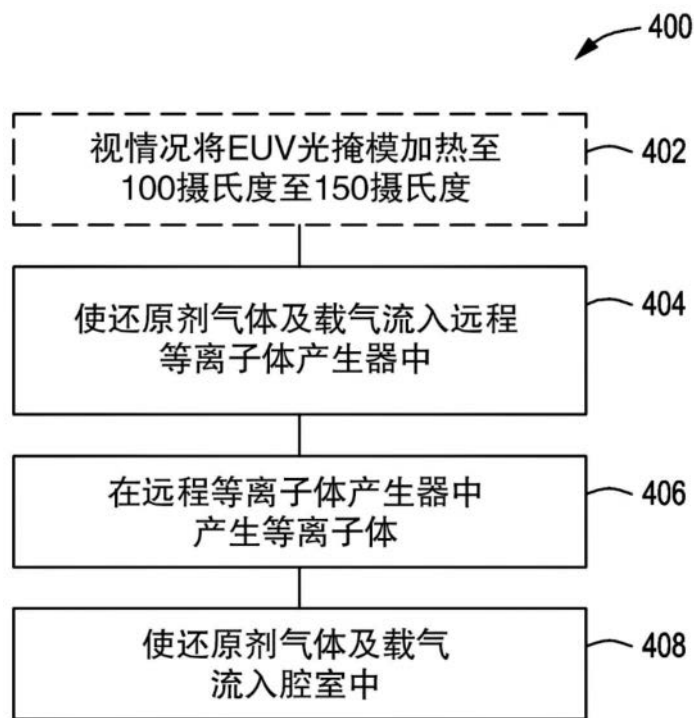


图4

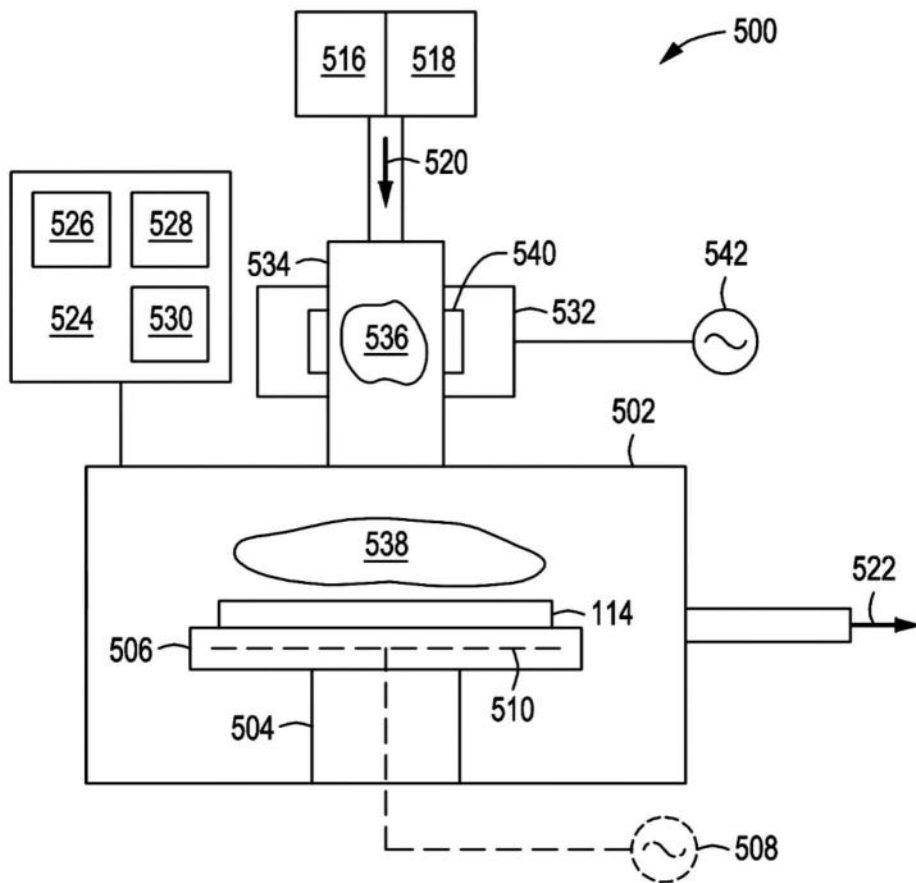


图5

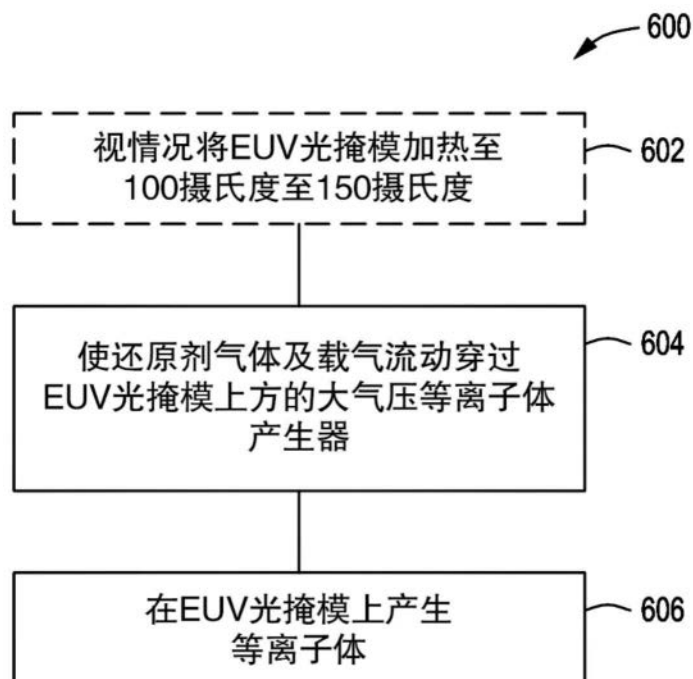


图6

