



(21) 申请号 202310546066.X

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2017.02.24

G03F 1/72 (2012.01)

(30) 优先权数据

102016203094.9 2016.02.26 DE

(62) 分案原申请数据

201710106325.1 2017.02.24

(71) 申请人 卡尔蔡司SMT有限责任公司

地址 德国上科亨

(72) 发明人 J·奥斯特 K·科尔尼洛夫

T·布雷特 H·施耐德

T·霍夫曼

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

专利代理师 王蕊瑞

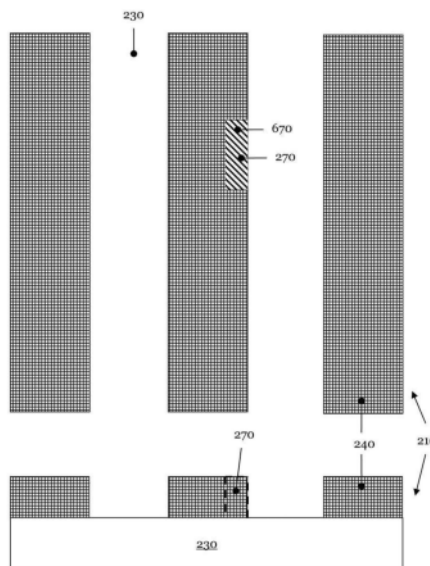
权利要求书2页 说明书12页 附图9页

(54) 发明名称

永久修复光刻掩模的材料缺损的缺陷的方法和装置

(57) 摘要

本发明涉及一种永久修复光刻掩模 (105、210、220) 的材料缺损的缺陷 (260、270、280) 的方法, 该方法包括以下步骤: (a) 在掩模 (105、210、220) 的待修复位置处提供至少一个含碳前驱气体和至少一个氧化剂; (b) 在材料缺损的位置处借助于至少一个能量源 (127) 引发所述至少一个含碳前驱气体的反应, 从而在材料缺损的位置处沉积材料, 其中沉积的材料 (460、670、880) 包括反应的至少一个含碳前驱气体的至少一个反应产物; 以及 (c) 控制所述至少一个氧化剂的气体体积流速, 以使沉积的材料 (460、670、880) 的碳比例最小化。



1. 一种永久修复相位掩模(220)的材料缺损的缺陷(260、270、280)的方法,其中该方法包括以下步骤:

a. 在所述相位掩模(220)的至少一个至少含钼和硅的层的待修复的位置处提供至少一个含碳前驱气体和至少一个氧化剂,其中所述至少一个含碳前驱气体包含至少一个羰基金属和至少一个主族元素醇盐;

b. 在所述至少一个至少含钼和硅的层的材料缺损的位置处借助于至少一个能量源(127)引发所述至少一个含碳前驱气体的反应,以便在材料缺损的位置处沉积材料,其中沉积的材料(460、670、880)包括反应的至少一个含碳前驱气体的至少一个反应产物;以及

c. 控制所述至少一个氧化剂的气体体积流速,以使用于永久修复所述至少一个至少含钼和硅的层的沉积的材料(460、670、880)的碳比例最小化,其中控制所述至少一个氧化剂的气体体积流速包括改变至少一个储存的氧化剂的温度,以及其中所述沉积的材料(460、670、880)包含碳比例 $<20\text{atom}\%$;

d. 其中,用于修复所述至少一个至少含钼和硅的层的所述沉积的材料(460、670、880)经历在曝光期间大于 $100\text{kJ}/\text{cm}^2$ 的辐射剂量,以及预定数量的清洁循环,而不会改变其光学特性和尺寸。

2. 如权利要求1所述的方法,其中所述沉积的材料(460、670、880)包括碳比例 $<15\text{atom}\%$ 。

3. 如权利要求1或2所述的方法,其中所述至少一个羰基金属包括选自以下组中的至少一个元素:六羰基铬($\text{Cr}(\text{CO})_6$)、六羰基钼($\text{Mo}(\text{CO})_6$)、六羰基钨($\text{W}(\text{CO})_6$)、八羰基二钴($\text{Co}_2(\text{CO})_8$)、十二羰基三钌($\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$)及五羰基铁($\text{Fe}(\text{CO})_5$)。

4. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述至少一个主族元素醇盐包括选自以下组中的至少一个元素:四乙氧基硅烷($\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$)、四甲氧基硅烷($\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$)及四异丙氧基钛($\text{Ti}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_4$)。

5. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述至少一个氧化剂包括选自以下组中的至少一个元素:氧气(O_2)、臭氧(O_3)、水蒸气(H_2O)、过氧化氢(H_2O_2)、一氧化二氮(N_2O)、一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO_2)及硝酸(HNO_3)。

6. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述至少一个能量源(127)包括至少一个粒子束(127)。

7. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述材料缺损包括选自以下组中的至少一个元素:相位掩模(220)的至少一个结构元件(250)的材料缺损、用于极紫外波长范围的光掩模的至少一个结构元件的材料缺损、透射式相位掩模(220)的基底(230)的材料缺损、以及纳米压印光刻掩模的至少一个结构元件的材料缺损。

8. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中在所述材料缺损的位置处提供所述至少一个前驱气体和至少一个氧化剂以1:10的混合比例实施。

9. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中提供所述至少一个羰基金属和至少一个主族元素醇盐以1:5的混合比例实施。

10. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中在所述材料缺损的位置处提供至少一个主族元素醇盐和至少一个氧化剂以1:10的混合比例实施。

11. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中提供所述至少一个氧化剂以气体体积

流速在0.3sccm至10sccm范围内实施。

12. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中在所述材料缺损的位置处提供所述至少一个羰基金属在 10^{-6} 毫巴至 10^{-4} 毫巴的压力范围内实施,提供所述至少一个主族元素醇盐在 10^{-6} 毫巴至 10^{-4} 毫巴的压力范围内实施,和/或提供所述至少一个氧化剂在 10^{-5} 毫巴至 10^{-2} 毫巴的压力范围内实施。

13. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中在材料缺损的位置处提供所述至少一个羰基金属在-50℃至+35℃的温度范围内实施。

14. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中在材料缺损的位置处提供所述至少一个主族元素醇盐在-40℃至+15℃的温度范围内实施。

15. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中材料(460、670、880)以0.01nm/s至1.0nm/s的速率沉积。

16. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述至少一个前驱气体包括同时提供六羰基铬($\text{Cr}(\text{CO})_6$)及四乙氧基硅烷($\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$)。

17. 一种永久修复相位掩模(220)的材料缺损的缺陷(260、270、280)的装置,包括:

a. 在所述相位掩模(220)的至少一个至少含钼和硅的层的待修复的位置处提供至少一个含碳前驱气体和至少一个氧化剂的装置,其中所述至少一个含碳前驱气体包含至少一个羰基金属和至少一个主族元素醇盐;

b. 至少一个能量源(127),用于在所述至少一个至少含钼和硅的层的材料缺损的位置处引发所述至少一个含碳前驱气体的反应,以便沉积材料(460、670、880)在所述材料缺损的位置处,其中沉积的材料(460、670、880)包括反应的至少一个含碳前驱气体的至少一个反应产物;以及

c. 用于控制所述至少一个氧化剂的气体体积流速以使用于永久修复所述至少一个至少含钼和硅的层的、沉积的材料(460、670、880)的碳比例最小化的装置,其中控制所述至少一个氧化剂的气体体积流速的装置包括改变至少一个储存的氧化剂的温度的装置,以及其中所述沉积的材料(460、670、880)包含碳比例 $<20\text{atom}\%$;

d. 其中,用于永久修复所述至少一个至少含钼和硅的层的所述沉积的材料(460、670、880)经历在曝光期间大于 $100\text{kJ}/\text{cm}^2$ 的辐射剂量,以及预定数量的清洁循环,而不会改变其光学特性和尺寸。

18. 如权利要求17所述的装置,其中用于提供所述至少一个含碳前驱气体和至少一个氧化剂的装置包括至少三个供应容器(150、155、160、165、170、175),各个所述供应容器具有至少一个计量阀(151、156、161、166、171、176)和至少一个气体馈送线系统(152、157、162、167、172、177),其具有在所述待修复位置附近的至少一个喷嘴,以便提供至少一个第一和一个第二含碳前驱气体和至少一个氧化剂。

19. 如权利要求17或18所述的装置,其中所述用于控制至少一个氧化剂的气体体积流速的装置包括控制单元(145),其配置为控制所述至少一个含碳前驱气体和至少一个氧化剂的气体体积流速。

永久修复光刻掩模的材料缺损的缺陷的方法和装置

[0001] 本申请是申请日为2017年2月24日且发明名称为“永久修复光刻掩模的材料缺损的缺陷的方法和装置”的中国专利申请No.201710106325.1的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及一种永久修复光刻掩模的材料缺损的缺陷的方法和装置。

背景技术

[0003] 在微电子技术中,作为不断增加的集成密度的结果,光刻掩模必须将变得越来越小的结构元件成像在晶片的光刻胶层中。为了满足这些要求,曝光波长正移动向更短的波长。目前,氟化氩(ArF)准分子激光器主要用于曝光目的,这些激光器发射193nm的波长。正持续进行深入的工作是有关于在极紫外光(EUV)波长范围(10nm至15nm)的发射光源和相应的EUV掩模。为了增加晶片曝光工艺的分辨能力,已经同时开发许多类型的常规二元光刻掩模,其示例是相位掩模或相位移掩模和用于多重曝光的掩模。

[0004] 随着结构元件的尺寸不断缩小,光刻掩模、光掩模或简单的掩模总是不可能制造为没有在晶片上可印刷或可辨识的缺陷。归咎于昂贵的光掩模生产成本,仅可能的是将有缺陷的光掩模修复。光刻掩模缺陷的两个重要的类型,首先是暗缺陷(dark defects)。这些缺陷是位于吸收体或相移材料所存在位置,但是所述位置并不应该含有这类材料。这些缺陷通过借助于局部蚀刻工艺将多余的材料移除来修复。

[0005] 其次,存在所谓的明缺陷(clear defects)。这些是光掩模上的缺陷,在晶片步进器或晶片扫描仪中的光学曝光时,这些缺陷相较于相同的无缺陷参考位置具有更大的光透射率。在掩模的修复工艺中,可通过沉积具有合适光学性质的材料来消除这些缺陷。理想地,用于修复的材料的光学性质应对应于吸收体或相移材料的光学性质。修复位置的层厚度可调整以适应于周围的吸收体或相移材料层的尺寸。

[0006] 用于修复而沉积的材料应该满足至少两个进一步的要求。首先,其应该承受预定数量的掩模清洁循环,而实质上并不改变其构造,即光学特性和尺寸。其次,应当能够用沉积的材料实施给定数量的晶片曝光,而关于相邻吸收体或相移材料,沉积的材料所述特性并未经历显著变化。

[0007] WO 2012/146 647A1揭示借助于粒子束、处理气体和可以是氧化气体的辅助气体而在光掩模上沉积参考标记。

[0008] WO 2005/017 949A2揭示借助电子束和四乙氧基硅烷(TEOS)或有机或无机前驱气体在光掩模上沉积材料。

[0009] 美国专利编号US 7,727,682 B2揭示借助电子束和沉积气体TEOS修复相移层。为了保护修复的位置,在第二处理步骤中,再次借助电子束和六羰基铬在整个区域上将铬保护层沉积在相移光掩模上。

[0010] 申请人已经确定的是,明缺陷的修复位置可遭受使用修复的光掩模的进程的改变。最后所引用的文献揭示了通过沉积合适的材料所修复的位置必须设有保护层。

[0011] 然而,在修复的掩模上施加全区域的保护层以覆盖一个或多个修复位置是时间和成本密集的附加工艺步骤。再者,沉积此附加层将带来风险,即不够完美均匀的层将造成在修复的光掩模上产生新的缺陷。

发明内容

[0012] 因此,本发明解决了特定方法和装置的问题,使其能够永久修复光刻掩模的材料缺损的缺陷并避免上述的至少一些缺点。

[0013] 根据本发明的示例性实施例,所述问题通过如权利要求1所述的方法来解决。在一个实施例中,永久修复光刻掩模的材料缺损的缺陷的方法包括以下步骤:(a)提供至少一个含碳前驱气体和至少一个氧化剂在所述光刻掩模的待修复的位置处;(b)在材料缺损的位置处借助于至少一个能量源引发所述至少一个含碳前驱气体的反应,以便在所述材料缺损的位置处沉积材料,其中沉积的材料包括反应的至少一个含碳前驱气体的至少一个反应产物;以及(c)控制所述至少一个氧化剂的气体体积流速,以使沉积的材料碳比例最小化。

[0014] 在从含碳前驱气体沉积材料的时候,在根据现有技术的方法和装置中,包含于前驱气体中或包含于一种或多种碳化合物的碳的部分无意间地并入沉积的材料中。在具有一个或多个明缺陷的相应修复位置的光掩模的曝光期间中,用于曝光的深紫外光(DUV)辐射和/或在曝光工艺期间由环境气体产生的臭氧,提取并入到沉积的材料中的碳的一部分。此外,清除该修复的掩模的重复过程可同样地释放存在于沉积的材料中的部分碳。这两种工艺在掩模修复过程中皆改变了沉积的材料特性,特别是光学特性,和/或沉积的材料的结构。

[0015] 根据本发明的方法通过在由能量源所引发的前驱气体的化学反应期间,控制前驱气体的氧化来解决此问题。因此,可离开反应位置的挥发性含碳化合物的比例显著地增加。结果,结合进入沉积的材料中的一小部分碳显著降低。作为降低的碳比例的结果,用于修复明缺陷沉积的材料具有显著增加的长期稳定性。其可承受预定数量的曝光和清洁循环,而实质上不会改变其光学特性和尺寸。

[0016] 在本申请中,反应或化学反应表示一种过程,其中一种或多种化合物转换成一种或多种其它的化合物。在本申请的上下文中,化合物的离解被认为是反应或化学反应的一种特殊情况。

[0017] 如同在本说明书中的这些位置,在这里所表述的“实质上”表示当使用根据现有技术的计量时在常规误差的极限内测量变量的指标。

[0018] 根据另一方面,沉积的材料包含碳比例<20atom%,优选为<15atom%,更优选为<10atom%,最优选为<5atom%。

[0019] 在由含碳前驱气体所组成的层的沉积期间,沉积的材料中的碳比例位于20atom%或更高的范围内。在含碳材料的化学反应期间,通过额外地提供氧化剂可显著地降低沉积的材料碳比例。就其结果而言,沉积的材料时效过程(ageing process)则急剧地趋缓。

[0020] 根据另一方面,所述至少一个含碳前驱气体包含至少一个羰基金属和/或至少一个主族元素醇盐。

[0021] 金属羰基可用于修正二元掩模的明缺陷。以主族元素醇盐为形式的前驱气体可用于修复透射式光掩模的基底缺陷和/或用于修复EUV掩模。包含羰基金属和主族醇盐的含碳

前驱气体可用于修正存在于相位掩模上的明缺陷。

[0022] 根据另一方面,所述至少一个羰基金属包含选自以下组中的至少一个元素:六羰基铬($\text{Cr}(\text{CO})_6$)、六羰基钼($\text{Mo}(\text{CO})_6$)、六羰基钨($\text{W}(\text{CO})_6$)、八羰基二钴($\text{Co}_2(\text{CO})_8$)、十二羰基三钌($\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$)及五羰基铁($\text{Fe}(\text{CO})_5$)。

[0023] 根据另一方面,所述至少一个主族元素醇盐包括选自以下组的至少一个元素:四乙氧基硅烷($\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$, TEOS), 四甲氧基硅烷($\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$, TMOS) 及四异丙氧基钛($\text{Ti}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_4$)。

[0024] 根据一有利的方面,所述至少一个氧化剂包括选自以下组中的至少一个元素:氧气(O_2)、臭氧(O_3)、水蒸气(H_2O)、过氧化氢(H_2O_2)、一氧化二氮(N_2O)、一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO_2)及硝酸(HNO_3)。

[0025] 氧化剂可以独立地使用,无论所述含碳前驱气体是否包含羰基金属、主族元素醇盐或羰基金属和主族元素醇盐的组合。

[0026] 根据另一方面,所述至少一个能量源包括至少一个粒子束。根据另一个有利的方面,所述至少一个粒子束包括电子束和/或光子束。

[0027] 电子束和光子束二者皆可精细地聚焦,使得电子束和/或光子束所引发至少一个含碳前驱气体的化学反应的区域非常小。当修复局部明缺陷时,空间分辨率因此很高。

[0028] 电子束可具有分辨率,其范围在0.4nm至10nm之间,优选为介于0.5nm至8nm之间,更优选为介于0.6nm至6nm之间,最优选为介于0.7nm至4nm之间。此外,电子束可具有能量,其范围介于0.05keV至5keV之间,优选为介于0.1keV至4keV之间,更优选为介于0.2keV至3keV之间,最优选为介于0.4keV至2keV之间。此外,电子束可具有束电流,其范围介于5pA至100pA之间,优选为介于10pA至80pA之间,更优选为介于15pA至70pA之间,最优选为介于20pA至60pA之间。

[0029] 在另一方面,电子束在待修复位置处具有驻留时间,其范围介于30ns至1s之间,优选为介于50ns至100ms之间,更优选为介于50ns至10μs之间,最优选为介于50ns至5μs之间。根据另一个有利方面,电子束具有重复时间,其范围介于1μs至10s之间,优选为介于10μs至1s之间,更优选为介于50μs至300ms之间,并且最优选为介于100μs至100ms之间。

[0030] 材料缺损可包括选自以下组中的至少一个元素:二元掩模的至少一个结构元件的材料缺损,相位掩模的至少一个结构元件的材料缺损,用于极紫外光波长范围的光掩模的至少一个结构元件的材料缺损,透射式光刻掩模的基底的材料缺损和/或纳米压印技术掩模的材料缺损。

[0031] 根据本发明的方法可以有利地用于修正当前使用中和开发中的各种光掩模的明缺陷。

[0032] 在材料缺损的位置处提供至少一个含碳前驱气体和至少一个氧化剂可以混合比例为1:100,优选为1:50,更优选为1:25,最优选为1:10实施。

[0033] 有利的是,在光掩模的待修复的位置处提供比前驱气体的粒子数目至少大十倍的氧化剂粒子数目。由氧化剂提供氧确保在前驱气体的化学反应期间形成最高可能比例的挥发性含碳化合物。

[0034] 提供至少一个羰基金属和至少一个主族元素醇盐可以混合比例为1:20,优选为1:10,更优选为1:7,最优选为1:5实施。

[0035] 就前驱材料的氧化的结果而言,在用于修复相位掩模的明缺陷的沉积工艺期间,与现有技术的沉积的材料相比,沉积的材料中的碳比例降低。对碳反应性掩模的清洁工艺的足够稳定性因此得以实现。基于相同的理由,关于在晶片步进器或晶片扫描仪中修复的掩模的曝光,可以实现足够的耐久性。为此之故,在通过相应的氧化剂的作用修复相移掩模的情况下,金属羰基与由主族元素醇盐组成的前驱气体的少量混合即已足够。

[0036] 根据一有利方面,在材料缺损的位置处提供至少一个主族元素醇盐和至少一个氧化剂以混合比例为1:100,优选为1:50,更优选为1:25,最优选为1:10实施。

[0037] 以类似于羰基金属相对氧化剂的比例的方式,较有利的是在光掩模的待修复的位置处提供与包含主族元素醇盐的前驱气体的粒子相比明显更多的氧化剂粒子。

[0038] 在一个有利的方面,提供至少一个氧化剂以气体体积流速范围为0.3sccm至10sccm,优选为0.5sccm至7sccm,更优选为1sccm至5sccm,最优选为2sccm至4sccm实施。

[0039] 氧化剂的气体体积流速可以借助于计量阀和/或通过储存的氧化剂的温度变化来设定。计量阀可以以质量流量控制器的形式实现。

[0040] 根据一个较佳的方面,在材料缺损的位置处提供至少一个羰基金属以压力范围为 10^{-6} 毫巴至 10^{-4} 毫巴实施,提供至少一个主族醇盐以压力范围为 10^{-6} 毫巴至 10^{-4} 毫巴实施,和/或提供所述至少一个氧化剂以压力范围为 10^{-5} 毫巴至 10^{-2} 毫巴实施。

[0041] 根据再另一方面,在材料缺损的位置处提供至少一个羰基金属在温度范围为-50℃至+35℃,优选为-40℃至+30℃,更优选为-30℃至+25℃,最优选为-20℃至+20℃实施。较有利的是,使温度范围适配于提供至少一个羰基金属给所使用的羰基金属。

[0042] 在材料缺损的位置处提供至少一个主族元素醇盐可在温度范围为-40℃至+15℃,优选为-30℃至+5℃,更优选为-20℃至-5℃,最优选为-15℃至-10℃实施。

[0043] 可将材料以速率范围为0.01nm/s至1.0nm/s,优选为0.02nm/s至0.5nm/s,更优选为0.04nm/s至0.3nm/s,最优选为0.05nm/s至0.15nm/s沉积。

[0044] 光刻掩模可包括相位掩模,并且提供至少一个前驱气体可包括同时提供六羰基铬($\text{Cr}(\text{CO})_6$)和四乙氧基硅烷($\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$, TEOS)。

[0045] 包含六羰基铬和TEOS的前驱气体可用来修正相位掩模,特别是衰减相移掩模的明缺陷。与沉积步骤关联,大幅呈现长期稳定性的缺陷修复可通过此前驱气体的组合实现。在修复处并且因此同时在整个光掩模上沉积保护层因此不再是必要的。

[0046] 根据又一方面,一种永久修复光刻掩模的材料缺损的缺陷的装置,包括:(a)用于在光刻掩模的待修复位置处提供至少一个含碳前驱气体和至少一个氧化剂的装置;(b)至少一个能量源,用于在材料缺损的位置处引发所述至少一个含碳前驱气体的反应,以便在所述材料缺损的位置处沉积材料,其中沉积的材料包括反应的至少一个含碳前驱气体的至少一个反应产物;以及(c)用于控制所述至少一个氧化剂的气体体积流速以使沉积的材料碳比例最小化的装置。

[0047] 根据本发明的装置使得能够在光掩模上局部沉积呈现出长期稳定性的材料,该材料实质上再现了围绕所述缺陷的材料的光学特性。沉积的材料可因此适配于缺陷的尺寸。

[0048] 根据另一方面,用于提供至少一个含碳前驱气体和至少一个氧化剂的装置包括至少三个供应容器,各个供应容器具有至少一个计量阀和至少一个气体供应线系统,该系统具有至少一个喷嘴靠近待修复的位置,以便提供至少一个第一和一个第二含碳前驱气体和

至少一个氧化剂。

[0049] 最后,用于控制至少一个氧化剂的气体体积流量的装置可包括控制单元,其配置为控制至少一个含碳前驱气体和至少一个氧化剂的气体体积流量。

附图说明

[0050] 以下的详细描述参考附图所示描述了本发明的当下较佳的示例性实施例,其中:

[0051] 图1示意性地显示可用于修复光掩模的明缺陷的装置的一些重要构件的方块图;

[0052] 图2示意性地包含具有基底材料缺损的缺陷的光掩模的部分;

[0053] 图3在基底材料缺损的缺陷已被部分地修复之后再现图2的部分;

[0054] 图4表示在修复基底材料缺损的缺陷之后的图3的部分;;

[0055] 图5示意性地包含具吸收体材料缺损的缺陷的二元掩模的部分;

[0056] 图6示意性地显示具有修复的缺陷的图5;

[0057] 图7示意性地表示具有吸收体材料缺损的缺陷的相移掩模和/或纯石英掩模的部分;;

[0058] 图8显示具有修正的缺陷的图7;以及

[0059] 图9重现用于修复光刻掩模的材料缺损的缺陷的方法的流程图。

具体实施方式

[0060] 于下文中,基于修改的扫描式电子显微镜的示例,更详细地解释根据本发明用于永久修复光刻掩模的材料缺损的缺陷的装置的当前较佳实施例。然而,根据本发明所述的装置并不限于下文中所描述的示例。如本技术领域技术人员将毫无困难地可认识到,代替所讨论的扫描式电子显微镜,可采取使用例如聚焦离子束和/或聚焦光子束作为能量源的任何扫描粒子显微镜。此外,根据本发明所述的方法并不限于使用通过以下实施例讨论的掩模。相反地,该方法可以用于修复任何所欲修复的光刻掩模。此外,根据本发明所述的方法的应用并不限于应用于光掩模。相反地,该方法可以用于修复纳米压印技术的模板或者一般用于修正具有材料缺损的缺陷的光学元件。

[0061] 图1示意性地显示一种装置100的主要部件,该装置可用于永久修复具有材料缺损的缺陷的样品105。样品105可以是任意的微结构化部件或结构化部件。举例而言,样品105可以包括透射或反射光掩模和/或用于纳米压印技术的模板。再者,装置100可以用于修复例如具有材料缺损的缺陷的集成电路、微机电系统 (MEMS) 和/或光子集成电路。在以下说明的实施例中,样品105为光刻掩模105。

[0062] 图1中的示例性装置100是修改过的扫描式电子显微镜 (SEM)。电子枪115产生电子束127,其通过元件120和125作为聚焦电子束127导引到布置在样品台110上的光刻掩模105上。

[0063] 样品台110具有微操纵器(于图1中未示出),借助于该微操纵器,光掩模105的缺陷位置可以位于光掩模105上的电子束127的入射点之下。此外,样品台110可以在高度上(即,在电子束127的束方向上)移位,使得电子束127的焦点位于光掩模105的表面上(同样地于图1中未示出)。再者,样品台110可包括用于设置和控制温度的装置,使得光掩模105可达到预定的温度并将其保持在该温度(于图1中未示出)。

[0064] 图1中的装置100使用电子束127作为能量源127,用于引发含碳前驱气体的局部化学反应。电子束127可以聚焦在直径小于10nm的小焦点上。此外,入射在光掩模105表面上的电子几乎不对光掩模105造成任何损伤,即使它们的动能在大的能量范围内变化。然而,装置100和本说明所提出的方法并不限于使用电子束127。而是可使用任何想要的粒子束,其能够在粒子束在光掩模105的表面上的入射点处局部地引起前驱气体的化学反应。替代的粒子束的范例是离子束、原子束、分子束和/或光子束。再者,可并行使用两个或更多个粒子束。尤其是,可同时使用电子束127和光子束(于图1中未示出)作为能量源127。

[0065] 电子束127可以用于记录光掩模105的图像,特别是光掩模105的缺陷位置的图像。用于检测背向散射电子和/或二次电子的检测器130提供与光掩模105表面轮廓和/或光掩模105组成成比例的信号。

[0066] 通过借助于控制单元145使电子束127在光掩模105上扫描或光栅扫描,装置100的计算器系统140可产生光掩模105的图像。控制单元145可以是计算器系统140的一部分,如图1所示,或者可以实施为单独的单元(于图1中未示出)。计算器系统140可包括算法,其实现为硬件、软件、固件或其组合,并且其使得从检测器130的测量数据中提取图像成为可能。计算器系统140的屏幕(于图1中未示出)可表示计算的图像。再者,计算器系统140可存储检测器130的测量数据和/或计算的图像。再者,计算器系统140的控制单元145可控制电子枪115以及射束成像和射束成型元件120和125。控制单元145的控制信号还可进一步通过微操纵器控制样品台110的移动(于图1中未示出)。

[0067] 入射在光掩模105上的电子束127可对掩模105进行静电充电。其结果为,可将电子束127偏转,并且当记录缺陷和当修复缺陷时,可降低空间分辨率。为了减少光掩模105的静电充电,可使用离子枪135,以具低动能的离子照射光掩模105的表面。举例而言,可使用具有数个100eV的动能的氩离子来中和该光掩模105。

[0068] 为了处理布置在样品台110上的光掩模105,即修复所述光掩模的缺陷,装置100包括用于三种不同处理气体的至少三个供应容器。第一供应容器150存储第一前驱气体,特别是第一含碳前驱气体。例如,可将主族元素醇盐,例如TEOS,储存在第一供应容器中。第二供应容器155储存第二含碳前驱气体。存储在第二供应容器155中的前驱气体可以是例如六羰基铬的羰基金属。第三供应容器160储存例如氧的氧化剂。氧化剂可包括例如选自以下组的至少一个元素:氧(O_2)、臭氧(O_3)、水蒸气(H_2O)、过氧化氢(H_2O_2)、一氧化二氮(N_2O)、一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO_2)及硝酸(HNO_3)及其他含氧化合物。

[0069] 第四可供选择的供应容器165可储存例如 NO_2 的第二氧化剂。第五同样可供选择的供应容器170可存储另外的前驱气体,例如第二羰基金属或第二主族元素醇盐。最后,第六可供选择的供应容器175可容纳蚀刻气体。借助于此,可修复光掩模105的多余材料的缺陷(暗缺陷)。再者,存储在第六供应容器175中的蚀刻气体可用于在缺陷修复期间再度移除沉积在掩模105上的过多材料。

[0070] 每一个供应容器150、155、160、165、170、175具有自身的控制阀151、156、161、166、171、176,以便监督或控制每单位时间提供的相应气体的绝对值,即在电子束127的入射位置处的气体体积流速。控制阀151、156、161、166、171和176由计算器系统140的控制单元145控制和监督。在处理位置处所提供气体的偏压率因此可在宽的范围内设定。

[0071] 再者,在示例性的装置100中,每个供应容器150、155、160、165、170、175具有自己

的气体供应线系统152、157、162、167、172、177,其端部具有喷嘴位于电子束127在光掩模105上的入射点的附近。在替代的实施例(于图1中未示出)中,使用气体馈送线系统将多个或所有处理气体以共同流的形式带到样品105的表面上。

[0072] 在图1所示的示例中,控制阀151、156、161、166、171、176布置在相应的容器150、155、160、165、170、175的附近。在替代布置中,控制阀151、156、161、166、171、176可以在相应的喷嘴(于图1中未示出)的附近处结合。与图1所示的示例不同之处且在当下没有较佳的情况下,还可在该装置100的真空腔体102的下部中非定向地提供一种或多种气体存储在容器150、155、160、165、170、175中。在此情况下,在装置100中并入停止件(图1中未示出)为必需的,该停止件位于反应空间下部和装置100的上部之间,其提供电子束127,以防止所述装置100的上部发生过低的真空。

[0073] 每个供应容器150、155、160、165、170和175可具有自己的温度设定元件和控制元件,其使得相应的供应容器能够冷却和加热。这将使得在相对最佳温度(于图1中未示出)存储和提供含碳前驱气体、氧化剂和(如果合适的话)蚀刻气体变的可能。再者,每个馈送系统152、157、162、167、172和177可包括自己的温度设定元件和温度控制元件,以便在光掩模105上电子束127的入射点处(同样未在图1中示出)于其最佳处理温度提供所有处理气体。计算器系统140的控制单元145可控制供应容器150、155、160、165、170、175以及气体供应线系统152、157、162、167、172、177二者的温度设定元件和温度控制元件。

[0074] 图1中所示的装置100包括用于产生和维持真空腔体102中所需的真空的泵系统(于图1中未示出)。利用关闭的控制阀151、156、161、166、171、176,在装置100的真空腔体102中可达到 $\leq 10^{-7}$ 毫巴的残余气体压力。所述泵系统可包括用于装置100上部的分离的泵系统,其用于提供电子束127,以及所述下部包括具有光掩模105的样品台110。再者,装置100可包括在电子束127的处理点附近的抽吸装置,从而在光掩模105的样品的表面处限定一限定的局部压力条件(图1中未示出)。使用附加的抽吸装置可很大程度上防止沉积的材料局部沉积所不需的一种或多种含碳前驱气体的一种或多种挥发性反应产物沉积在光掩模105上和/或在真空腔体102中。再者,抽吸装置可防止在蚀刻过程中所产生的粒子分布在装置100的真空腔体102中。泵系统和附加抽吸提取装置的功能同样地可通过计算器系统140的控制单元145来控制 and/或监控。

[0075] 最后,装置100可包括一个或多个扫描力显微镜,使得可以详细地分析光掩模的缺陷(于图1中未示出)。

[0076] 图2示意性地显示来自光掩模105的部分。在图2的范例中,光掩模105可包括二元掩模210或相位掩模220,例如衰减相移掩模。再者,光掩模105可包括纯石英掩模或用于纳米压印光刻(NIL)的掩模。纯石英掩模可以193nm波长范围中的辐射来曝光。

[0077] 图2的上部呈现掩模105的部分的平面图。其下部呈现该上部的部分的侧视图。光刻掩模105包括光学透明基底230,优选为石英基底或氟化钙(CaF_2)基底。如果光掩模105表示为二元掩模210,则将黑色或不透明图案240布置在基底230上。在图2的范例中,图案240由线图案240表示。线图案240的材料通常包括铬,其通常涂覆有薄的氧化铬层。替代地,可使用铝或钛来制造同样由薄氧化物层(即,包括几个纳米)覆盖的二元光掩模210。典型的吸收体结构具有范围为10nm至100nm的层厚度。

[0078] 二元掩模210还可利用其它吸收材料制成,例如由厚的($d \approx 200\text{nm}$)的钼-硅不透明

层制成。其它吸收体材料的示例为钼、氮、硅和氧的化合物,在其技术领域缩写为OMOG,代表不透明的MoSi于玻璃上,以及为钼、硼和氮的化合物。这些材料的层厚度通常在100nm或更小的范围内。二元掩模的特征在于吸收体图案,其结构尺寸大于用于曝光的辐射的衍射极限,并且其在曝光波长的光学透射率为<1%。

[0079] 相位掩模220的吸收体元件,例如是在图2中的线图案250,通常由部分透明的钼硅氧化物(MoSiO_x , $0 < x \leq 1$)或钼硅氮氧化物(MoSiO_xN_y , $0 < x \leq 1, 0 < y \leq 1$)制成。对于具有深紫外光波长范围(248nm或193nm)的曝光波长的相位掩模,结构产生层的元件通常是由以个位数百分比范围掺杂钼和氧的氮化硅制成。从下文中,这些相移吸收体层被指定为MoSi层。

[0080] 然而,还可以使用氧化铬(CrO)和/或氧氮化铬(CrO_xN_y , $0 < x \leq 1, 0 < y \leq 1$)作为相位掩模220的吸收体材料,例如衰减相移掩模。相位掩模220的相移和吸收结构元件250的层厚度适配于使用的曝光波长。另外的相位掩模的范例为具有不同高度的纯石英结构,其在本技术领域称为CPL,代表无铬相移光刻。再者,使用具二元吸收体的不同高度的石英结构所构成的相位掩模,其缩写为APSM,代表交替相移掩模。本申请中所描述的缺陷修正的过程可应用于所提及的所有掩模类型。

[0081] 图2中所示的光掩模105具有材料缺损的缺陷260。缺陷260表示光掩模105的透明基底230中的凹陷,即基底230的材料在缺陷260的位置处并不存在。在借助于相应的度量工具(例如以激光系统)而找到缺陷260和/或其它缺陷270、280(参见图5和图7)之后,在第一步骤中通过装置100的电子束127扫描缺陷260或缺陷260、270、280。必要时,可使用扫描力显微镜额外地检查缺陷260或缺陷260、270、280。

[0082] 光掩模通常具有6.35mm的厚度。缺陷260可具有从小于1纳米到几百纳米的范围的深度。基底材料缺损的缺陷260的横向尺寸可从个位数的纳米范围延伸到两位数的微米范围。可通过在基底材料缺损的位置处沉积二氧化硅(SiO_2)来修正缺陷260。通过裂解配体,前驱气体四乙氧基硅烷(TEOS),四甲氧基硅烷(TMOS)可用作 SiO_2 的供应源。较佳地,为了修复缺陷260,可使用氧(O_2)或二氧化氮(NO_2)作为氧化剂。在以下所描述的范例中,将TEOS用作前驱气体, NO_2 用作氧化剂。

[0083] 为了修复缺陷260或基底缺陷260,通过控制阀151控制的方式,从供应容器150通过馈线系统152在缺陷260的位置处提供TEOS。然后,在缺陷位置的区域中,TEOS被吸附在基底230的表面上(物理吸附)。借助于控制阀151,缺陷位置处的压力设定在 10^{-5} 毫巴。这对应于大约0.05sccm(标准立方厘米)的气体体积流速。在-10℃的温度,在缺陷260的位置处提供前驱气体TEOS。同时,在缺陷位置处,以控制阀161控制的方式,以4sccm的气体体积流速从供应容器160经由气体供应线系统162供给氧化剂 NO_2 。氧的气体体积流速在缺陷位置产生 10^{-3} 毫巴的压力分压。

[0084] 装置100的电子束127局部地在缺陷260的位置处提供用于引发局部化学反应的能量,该局部化学反应通过自前驱气体TEOS的中心原子硅裂解该前驱气体的至少一部分配体。在一方面,额外地提供的氧化剂 NO_2 局部地支持将TEOS的中心原子氧化成为 SiO_2 ,在另一方面,氧化裂解的配体或其节段成为挥发性组分,其通过装置100的抽吸装置从真空腔体102中吸取来抽离。与在沉积位置处不提供氧的工艺实施相比较,过量的氧化剂 NO_2 导致在缺陷位置处沉积更纯的 SiO_2 层,并且结合了更少的碳。在缺陷位置处沉积的层中,碳仅存在 $\leq 5\text{atom}\%$ 。

[0085] 在沉积工艺的期间,由电子束127供应动能高达1keV且束电流大约为50pA的电子。电子束在缺陷260的位置处以具有5nm直径的焦点进行光栅扫描,重复持续时间为1ms,停留时间高达1 μ s。

[0086] 取决于缺陷260的尺寸,沉积工艺可在特定持续时间之后中断,并且通过电子束127和/或扫描力显微镜分析缺陷260的剩余残余物360。此于图3中显示出。借助于前驱气体TEOS和氧化剂NO₂在实质上修复缺陷260的沉积工艺之后的持续时间从剩余的残余物360的测量数据计算。

[0087] 图4表示在结束用于修复基底缺陷260的第二沉积工艺步骤之后选自图3的光掩模105的部分。所述沉积工艺通过沉积SiO₂层实质上消除了凹陷,即缺陷260。由于沉积层460具有低的碳比例,有利的是选择沉积层460的厚度,使得后者精确地填充缺陷260的凹陷。

[0088] 在第二沉积工艺步骤之后如果仍存在小部分的缺陷260,则可通过进一步暂时地限制SiO₂沉积来修正。如果过多的材料被无意地横向地和/或垂直地沉积在光掩模210、220的基底230上,在分析新产生的缺陷之后,则可借助于电子束127和存储在供应容器175中例如二氟化氙(XeF₂)蚀刻气体再次将该过多的材料移除。

[0089] 在图2至图4中所讨论的范例中,缺陷260所指的是二元掩模210或相移掩模220的基底230的缺陷。然而,所述沉积工艺也可用于将缺损的材料沉积到相位掩模,其不具有由吸收体材料所组成的结构元件,例如上述的CPL,ASPM和NIL掩模。

[0090] 图5显示摘自具有吸收体结构元件240布置在基底230上的二元相位掩模210的部分。图5在上部分图中显示摘自二元掩模210的平面图,并且在下部分图中显示摘自二元光掩模210的侧视图。在图5的示例中,吸收体结构元件240是由在表面处包括薄氧化铬层(包括数个纳米)的铬层制成。所述铬层的厚度范围为10nm至100nm。在图5中,中央吸收体结构元件240具有缺陷270,此缺陷270表示吸收体材料缺损的位置。

[0091] 以下讨论图5中的二元光掩模210的缺陷270的修复。缺陷270的横向尺寸范围可从个位数纳米范围到两位数微米范围。借助于羰基金属和氧化剂能可靠地修正吸收体结构240的缺陷270。在此所揭示的实施例中,六羰基铬用作前驱气体,NO₂用作氧化剂。

[0092] 为了修复二元掩模210的吸收体结构元件240的缺陷270,从供应容器155,通过气体供应线系统157将前驱气体六羰基铬(Cr(CO)₆)供应到缺陷270的位置。在缺陷270的区域中,Cr(CO)₆被吸附在基底230的表面上。计算器系统140的控制单元145打开供应容器155的控制阀156,以便在缺陷位置处产生气体压力 5×10^{-4} mbar的Cr(CO)₆。此对应于0.01sccm的气体体积流速。同时,在缺陷位置处,从供应容器165经由气体供应线系统167并以由气体馈送线系统167和控制阀166控制的方式以2sccm的气体体积流速提供氧化剂NO₂。所述NO₂气体体积流速在缺陷位置处产生 5×10^{-2} 毫巴的压力分压。

[0093] 装置100的电子束127在缺陷270的位置处局部地提供能量,在局部化学反应中,此能量将前驱气体Cr(CO)₆的至少一个部分的CO配体与前驱气体的中心原子铬(Cr)分离。额外地提供的氧化剂NO₂局部地支持Cr(CO)₆的配体的离解,促进其中心原子Cr氧化成CrO,特别是CrO₂,并且促进离解的CO配体氧化成二氧化碳(CO₂),其作为挥发性组分可以通过装置100的抽吸装置从真空腔体102吸取而抽离。与在缺陷270的位置处并无额外地提供NO₂的沉积工艺相比,在缺陷位置处过量的NO₂导致沉积更纯的Cr/CrO层。由于绝大多数裂解的CO配体可以CO₂的形式从装置100的真空腔体102中移除,仅绝少数的碳被引入到沉积层中。沉积

层仅包含约5atom%的碳。

[0094] 为了发动所述沉积工艺,由电子束127提供具有1keV的动能且具有大约40pA的电流强度的电子。电子束127以焦点直径为5nm,重复时间为1ms,停留时间为1 μ s在缺陷270的位置处进行光栅扫描。

[0095] 如以上所解释,修复过程可在多个连续的步骤中再次地实施。在各个沉积步骤之间,通过电子束127和/或扫描力显微镜分析仍然残存的缺陷270的残余物,并由此确定下一个沉积步骤的持续时间。图6显示沉积在缺陷270的位置处的层670。调整沉积材料670的高度以适应于吸收体元件240的高度。基于吸收体结构元件240和沉积层670的材料具有类似的光学特性,此将导致有利的结果。

[0096] 在单独的修复步骤之间,可调整羰基金属Cr(CO)₆和氧化剂NO₂的分压比。再者,在沉积工艺期间,在缺陷270的位置处可以连续地或以脉冲形式提供前驱气体和/或氧化剂。

[0097] 由电子束127所供应的每个电子导致0.05Å³至0.25Å³的体积的沉积。此对应的沉积速率约为0.1nm/s。如以上所述,吸收体元件240的层厚度在10nm至100nm的范围内。因此可在大约10分钟的时间间隔内沉积厚度为60nm的Cr/CrO层。

[0098] 在图2至图6的上下中所讨论的范例关于修复二元掩模210或相移透射光掩模220的材料缺损。然而,所述修复工艺还可用于修复用于极端紫外光(EUV)波长范围的光掩模的吸收体元件的材料缺损。在EUV掩模的情况下,吸收体结构元件通常是由铬或氮化钽(TaN)所制成。通过选择相应的金属羰基和例如氧或二氧化氮的氧化剂,可以修复EUV掩模中吸收体材料缺损的缺陷。如上所述,例如借助于前驱气体六羰基钽(Ta(CO)₆)并通过例如使用前驱气体六羰基铬(Cr(CO)₆)和氮化钽层可将铬层修复。

[0099] 在另一应用例中,图7中所示的光掩模220描述相移掩模,其吸收体元件250包括薄的部分透射的MoSi层(衰减相移掩模)。在图7的范例中,吸收体元件250的MoSi层具吸收体材料缺损的缺陷280。可通过在吸收体材料缺损的位置处同时沉积二氧化硅(SiO₂)和金属来修正MoSi吸收体元件250的缺陷280。在这种情况下,TEOS和/或TMOS可以用作供应SiO₂的前驱气体,并且羰基金属可以用作供应金属的前驱气体。优选为再次使用O₂和/或NO₂作为氧化剂,以修复MoSi吸收体元件250的缺陷280。

[0100] 为了修正吸收体材料缺损的缺陷280,从供应容器150通过馈线系统152以控制阀151控制的方式在缺陷280的位置处提供TEOS。借助于控制阀151,在缺陷位置处的压力设定为10⁻⁵毫巴。前驱气体TEOS在缺陷280的位置处处于-10℃的温度。同时,在缺陷位置处,从供应容器155以控制阀156和气体馈送系统157控制的方式将六羰基铬带到缺陷280的位置。在缺陷280的位置处,Cr(CO)₆处于-20℃的温度。将控制阀156打开至使得前驱气体Cr(CO)₆的分压达到5×10⁻⁶毫巴的程度。在所讨论的实施例,前驱气体具有TEOS:Cr(CO)₆的分压比为5:1。两种前驱气体在相移掩模220的基底230的表面上的缺陷280的区域中被共同吸收。

[0101] 与前驱气体TEOS和Cr(CO)₆平行地,氧化剂NO₂从供应容器165通过气体馈送系统167以控制阀166控制的方式以2.5sccm的气体体积流速传送到缺陷280的位置。NO₂的气体体积流量在缺陷位置处产生10⁻²毫巴的压力分压。

[0102] 装置100的电子束127在缺陷280的位置处局部地引发化学反应,该化学反应将前驱气体TEOS的配体的至少一部分自前驱气体的中心原子硅裂解。再者,局部化学反应同时

使CO配体自六羰基铬的中心原子铬解离。额外提供的NO₂局部地促进TEOS的硅中心原子氧化成为SiO₂,Cr(CO)₆的铬中心原子的氧化,以及裂解的配体或配体部分的氧化。尤其是,过量存在的二氧化氮促进CO配体氧化成挥发性的CO₂。在前驱气体分解期间产生的挥发性的组分通过装置100的抽吸装置从真空腔体102中移除。

[0103] 为了引发局部的化学反应,电子束127以焦点直径为5nm,重复时间为1ms,停留时间为1μs在缺陷270的位置上扫描。电子束127的电子在缺陷位置处以1keV的动能照在光掩模220的基底230的表面上。电子束127的电流强度在大约50pA的范围内。

[0104] 图8显示在修复缺陷280后源自图7的相位掩模220的局部图。将层870沉积在所述缺陷的位置处。沉积的层870的高度实质上对应于MoSi结构元件250的厚度。

[0105] 与所使用的前驱气体的碳比例相比,在沉积工艺期间,前驱气体的氧化导致沉积材料中的碳比例降低。结果,氧化剂NO₂与前驱气体TEOS和Cr(CO)₆的组合导致在缺陷280的位置处沉积贫碳的SiO₂/Cr层。在缺陷位置处的沉积的层的碳比例为≤5atom%。

[0106] 以上在图2至图4中所讨论的上下文中描述了沉积工艺的时间顺序。

[0107] 在图7和8中解释了相位掩模220的MoSi结构元件250的修复。如上所述,二元光掩模210的吸收体结构元件240同样可以由厚的非透明MoSi层制造。如图7和8的上下文中所解释的修复部分透射的薄MoSi层的工艺当然也可以用于修正厚的非透射MoSi层的材料缺损的缺陷。

[0108] 在现有技术中,通过逐渐施加来自TEOS的SiO₂层和来自Cr(CO)₆的铬来沉积相移MoSi层250的缺陷280。根据该理论,相移效应主要归因于从前驱气体TEOS沉积的层,且吸收效应主要归因于从前驱气体Cr(CO)₆沉积的层。通常,在现有技术中,为了修复MoSi层的缺陷280,沉积具有显著大于周围的MoSi层的层厚度的沉积材料。因此,在具有特征尺寸<150nm的光掩模220的情况下,与没有缺陷的参考位置相比,在修复位置的区域可能发生晶片曝光的偏差。

[0109] 在反应位置处,即在缺陷280的位置处,利用所有反应物的相移和吸收性质使相互混合的两种前驱气体同时被氧化剂氧化。其结果为,使相移层和吸收层间的分离状态消除。此外,两种前驱气体的氧化导致在修复位置处的沉积的材料具有非常低的碳比例。基于此原因,MoSi吸收体结构元件250的修复位置并不经历显著的老化(ageing),并且关于掩模清洁工艺及在与使用修复的光掩模210、220期间所发生的曝光剂量上表现出长期的稳定性。可省略在现有技术中所描述的在相位掩模220的吸收体元件250的修复位置上方施加金属保护层的工艺。其结果为,在本申请中所揭示的方法能显著地简化材料缺损缺陷的修复。

[0110] 如果在不提供氧化剂的情况下实施上述图2至图8背景下所讨论的示例性修复工艺,则沉积层将具有20atom%或更高的碳比例。在使用高能量深紫外光(λ=193nm)曝光的期间,光掩模承受巨大的负载。晶片曝光期间的辐射剂量远远大于100kJ/cm²。作为极高曝光剂量的结果,在光刻曝光设备(XCDA(eXtra Clean Dry Air)气氛)的极干净和干燥的环境中,可能发生臭氧的形成,臭氧被认为是碳或碳化合物特别好的氧化剂。在修复缺陷260、270、280处并入沉积层中的碳或并入的碳化合物(例如CO配体)与臭氧反应以形成CO₂,CO₂从沉积的材料中散逸,且因此削弱其结构。

[0111] 再者,用于光掩模210、220的现代清洁剂对含碳化合物特别有效。其结果为,在经常发生的掩模清洁的背景下,从用于修正缺陷所沉积的层中提取碳或含碳成分。这首先导

致沉积的材料的光学性质的改变,其次导致其结构的弱化。因此,如果在没有额外的氧化剂的情况下沉积,则在光掩模210、220上沉积材料整体上经历老化效应。

[0112] 在图9中的流程图900表示用于永久修复光刻掩模105、210、220的材料缺损的缺陷260、270、280的方法的步骤。可选用的方法步骤由图900中的虚线框表示。

[0113] 所述方法开始于步骤905。步骤910涉及借助于电子束127和/或扫描力显微镜的探针来检查缺陷260、270、280或材料缺损的辨识缺陷260、270、280。步骤915包括在光刻掩模105、210、220的缺陷位置260、270、280处提供至少一个含碳前驱气体和至少一个种氧化剂。

[0114] 在步骤920中,以能量源(例如电子束127)在材料缺损的位置处引发至少一个含碳前驱气体的局部化学反应,以便在缺陷位置260、270、280处沉积所缺损的材料,其中沉积的材料460、670、880包括反应的至少一个含碳前驱气体的至少一个反应产物。

[0115] 步骤925包括控制至少一个氧化剂的气体体积流速,以使沉积的材料460、670、880的碳比例最小化。通过控制单元145结合控制阀151、156、161、166、171、176可实施控制氧化剂的气体体积流速。

[0116] 步骤930涉及检查残余缺陷360。决定步骤935则涉及确定残余缺陷360是否小于或等于预定阈值。如果是这种情况,则该方法在步骤940结束。如果并非这种情况,则该方法进行到步骤915并开始第二沉积工艺步骤。

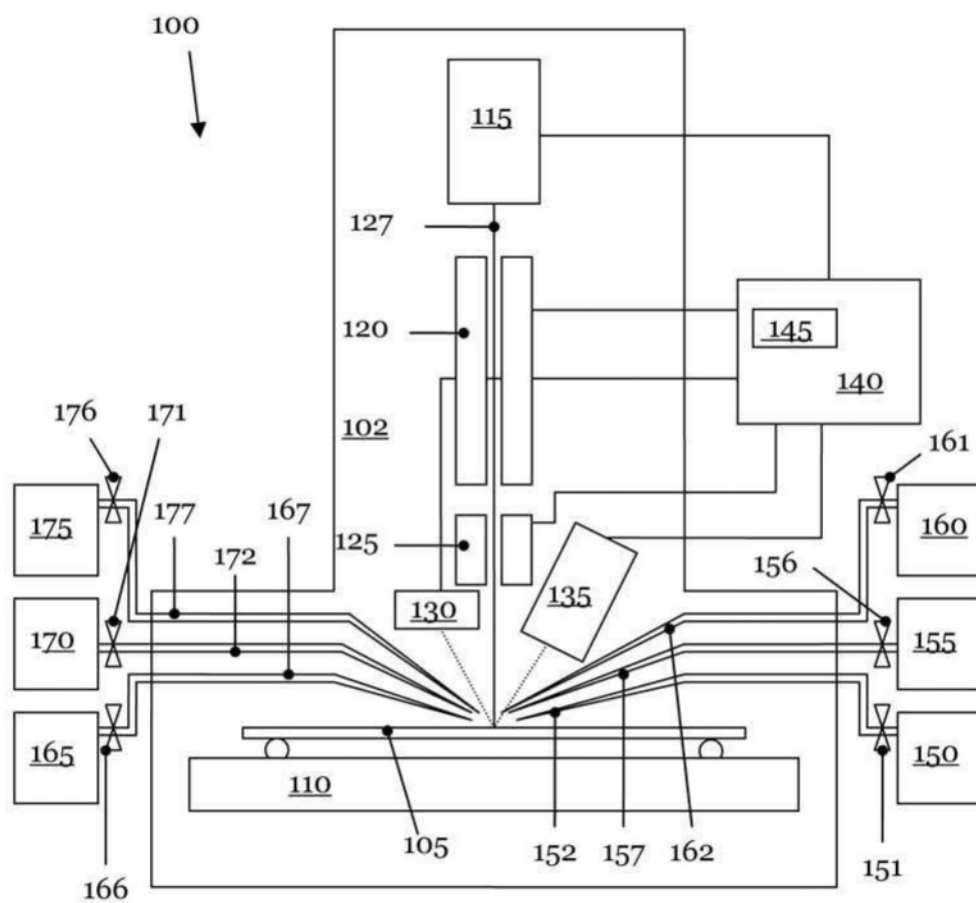


图1

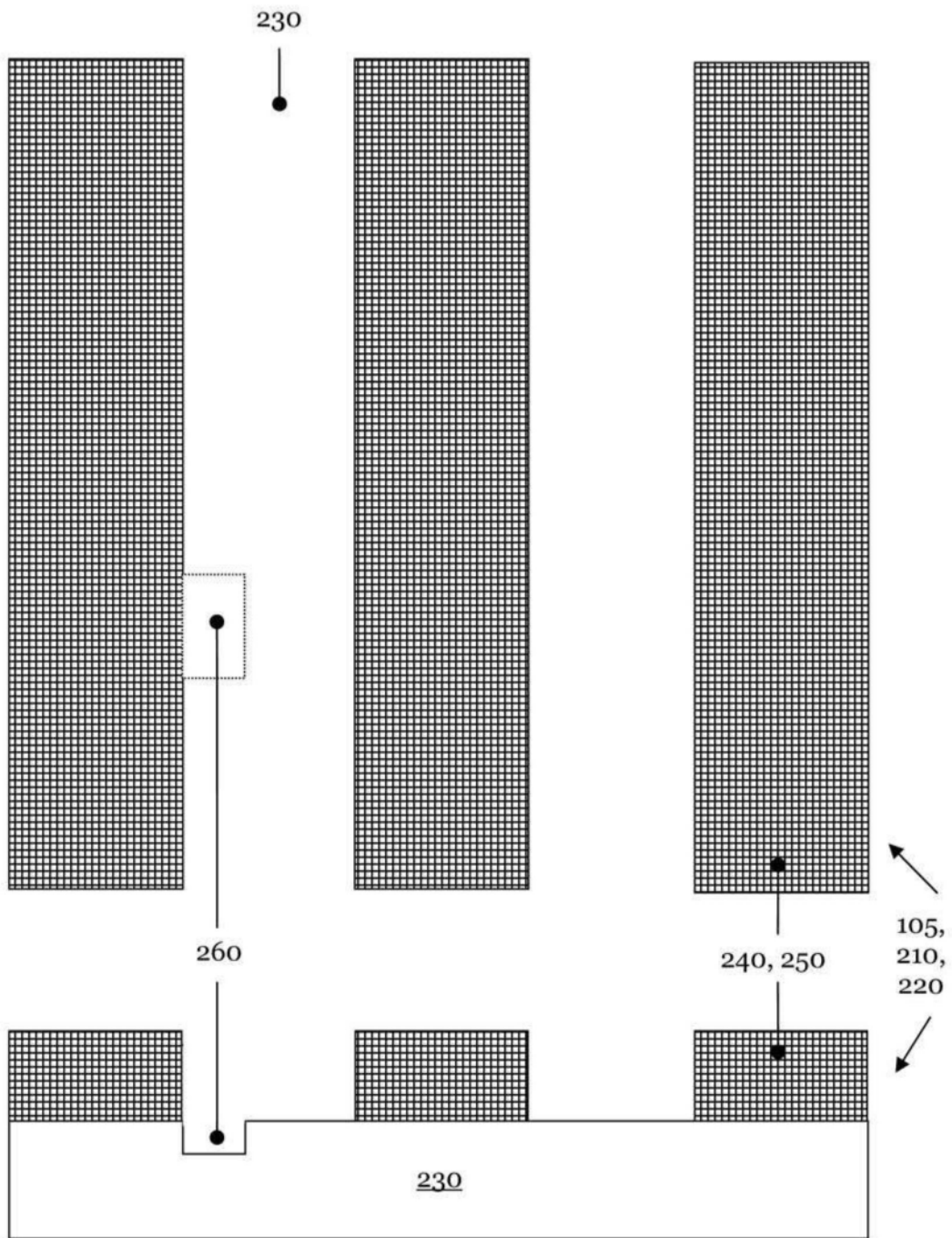


图2

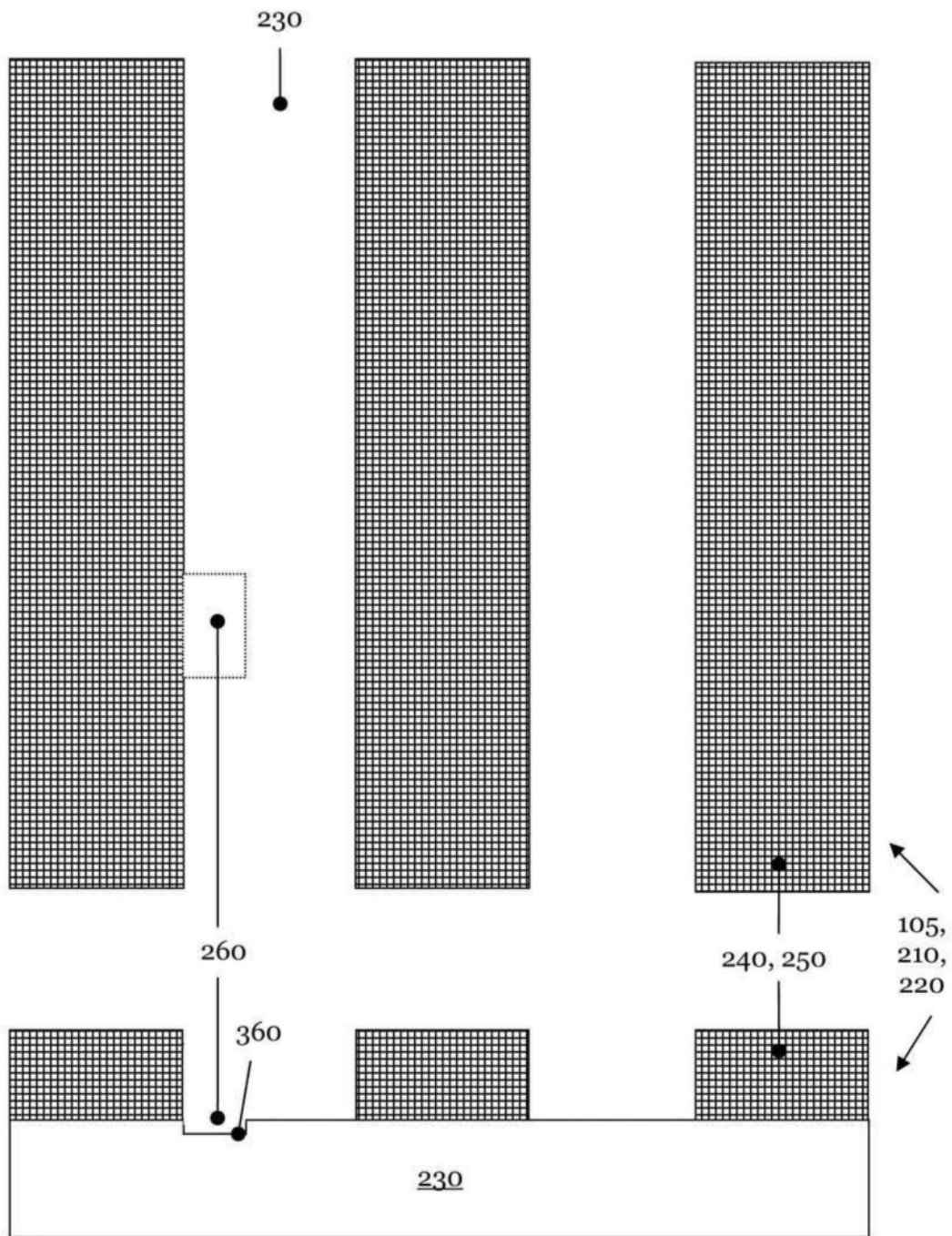


图3

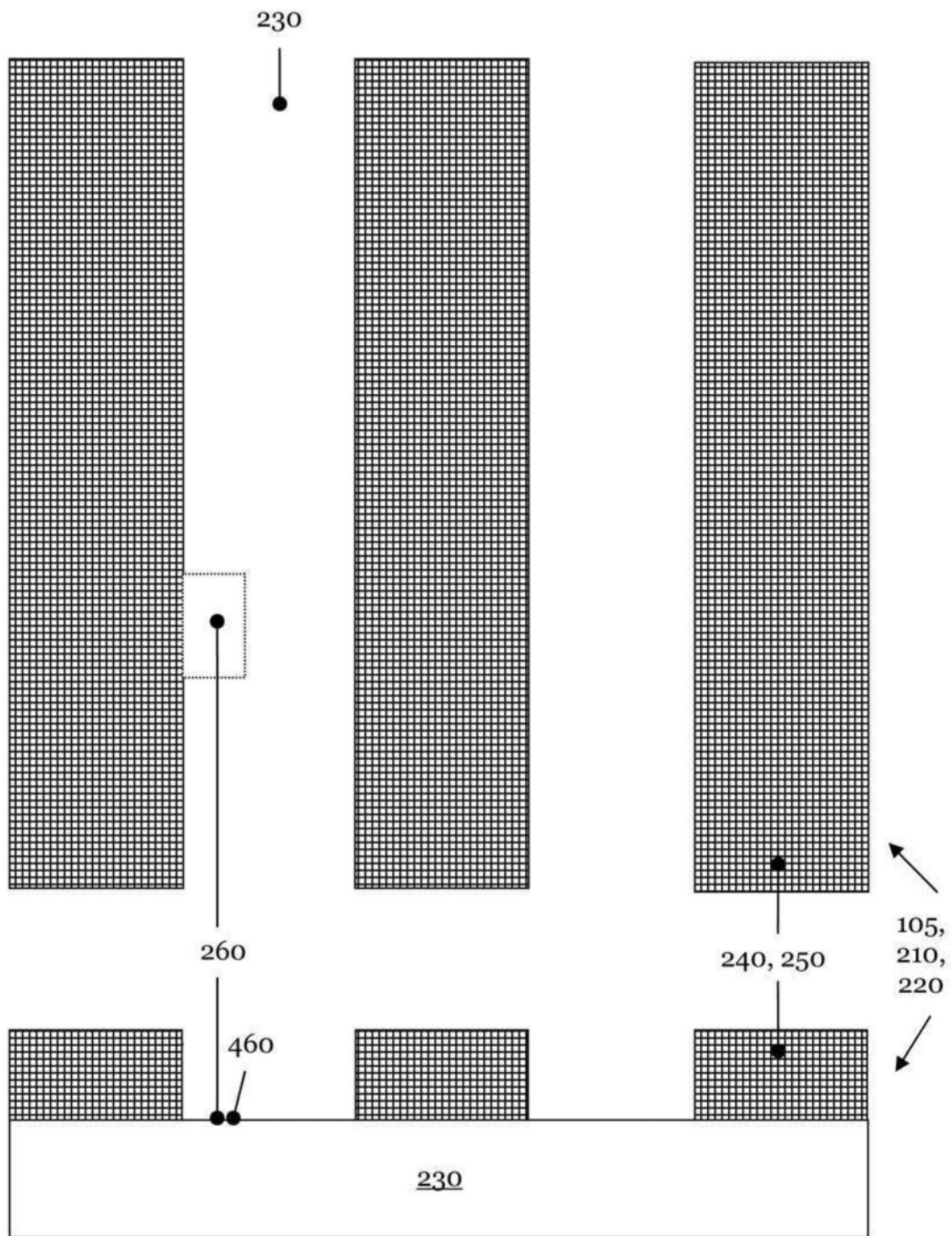


图4

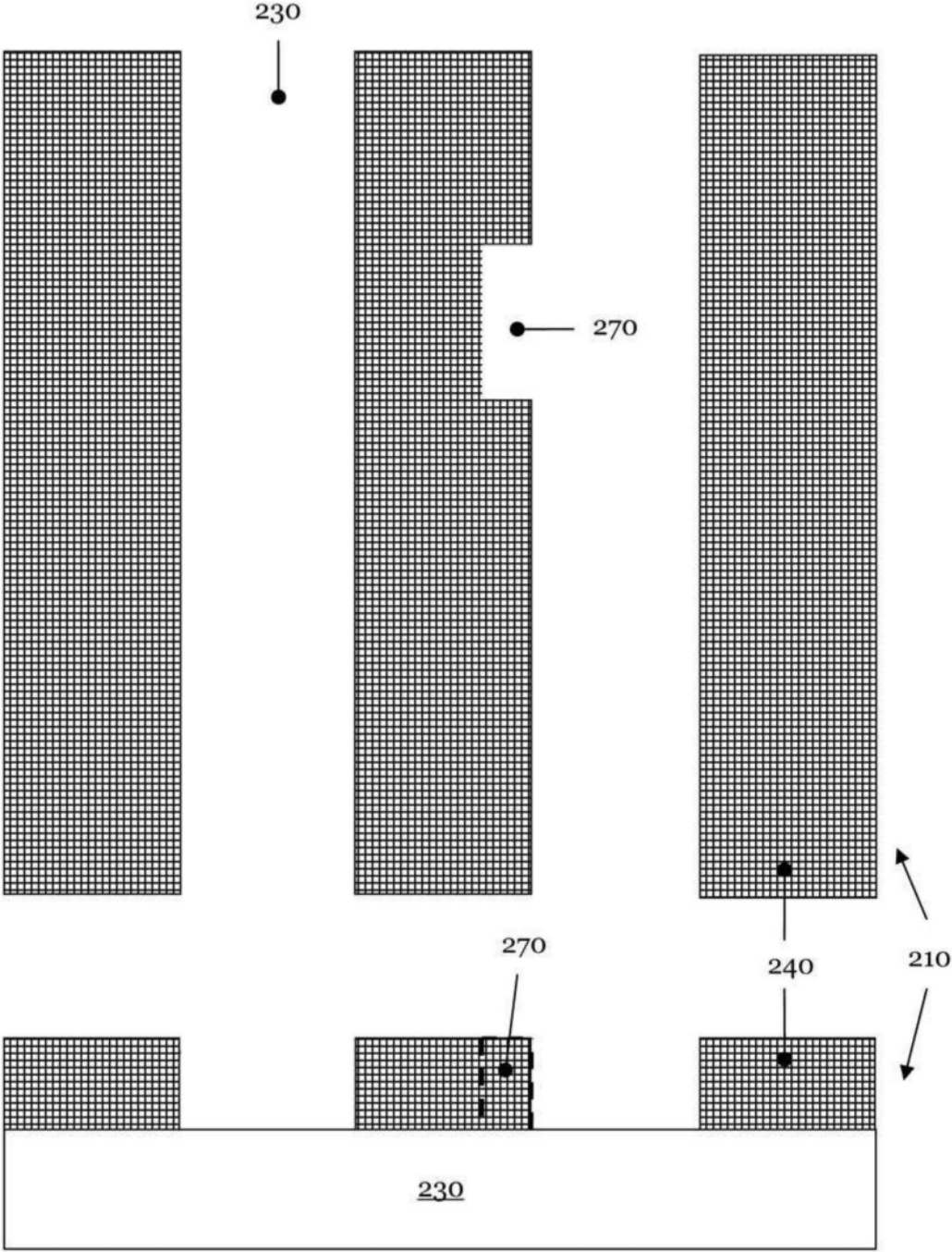


图5

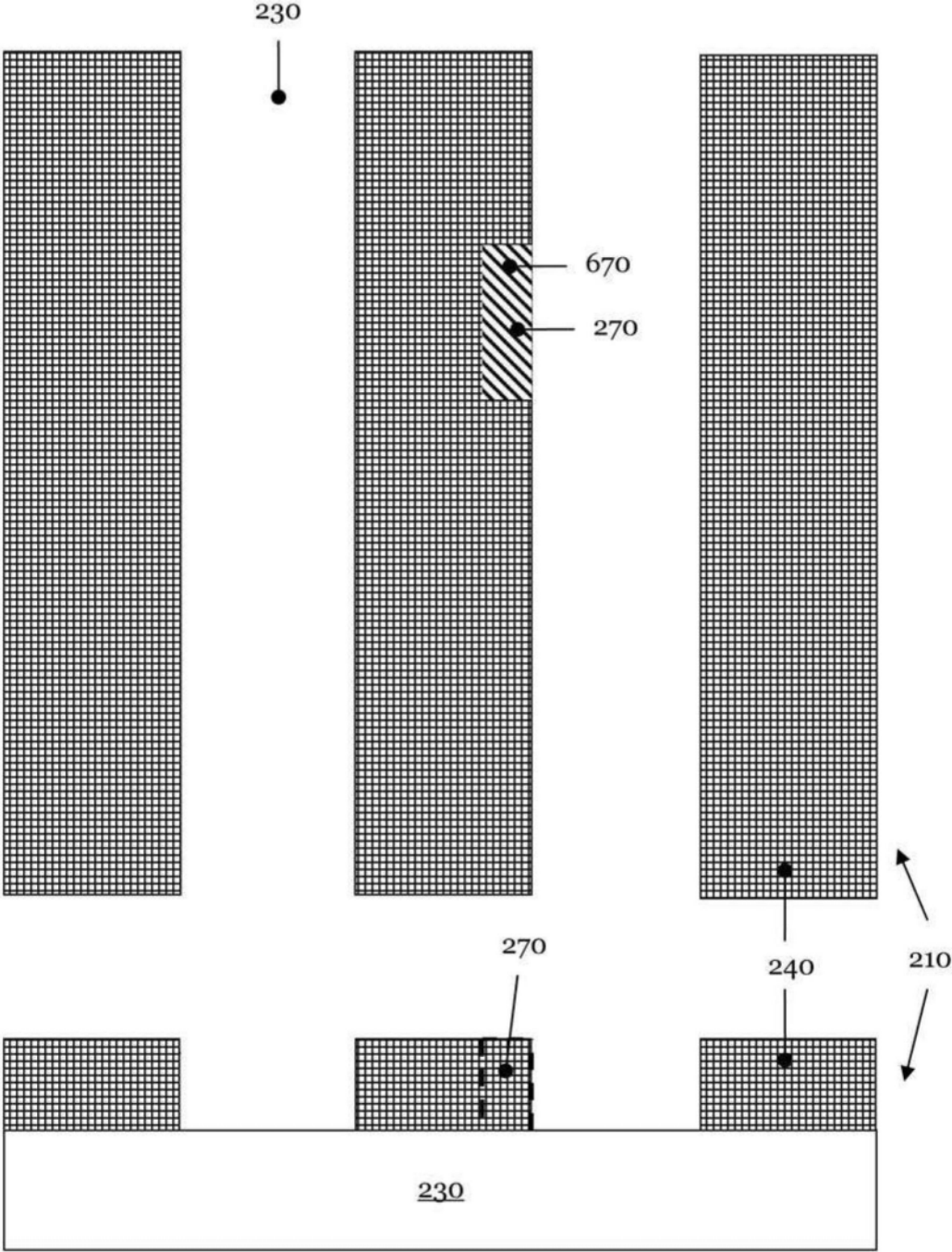


图6

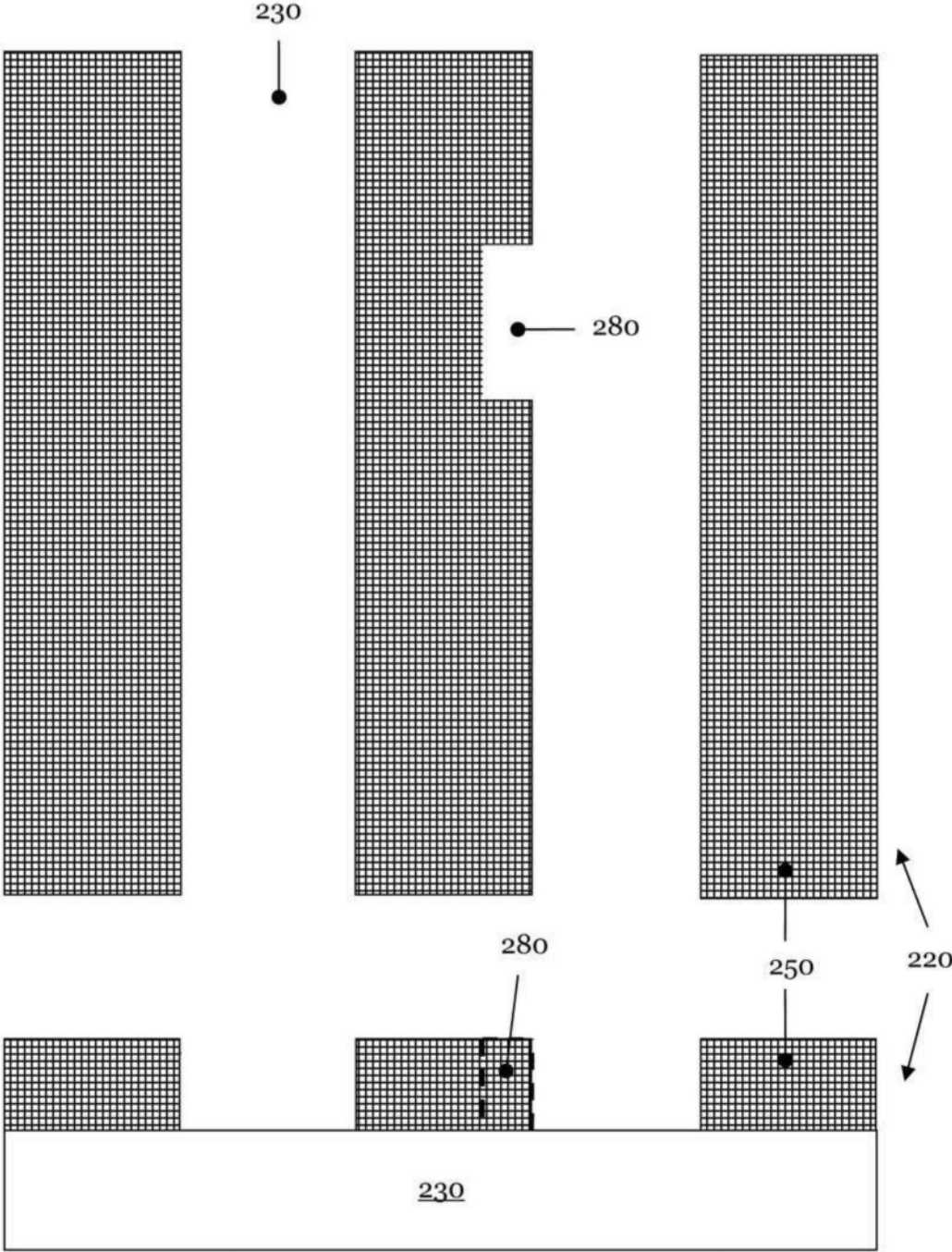


图7

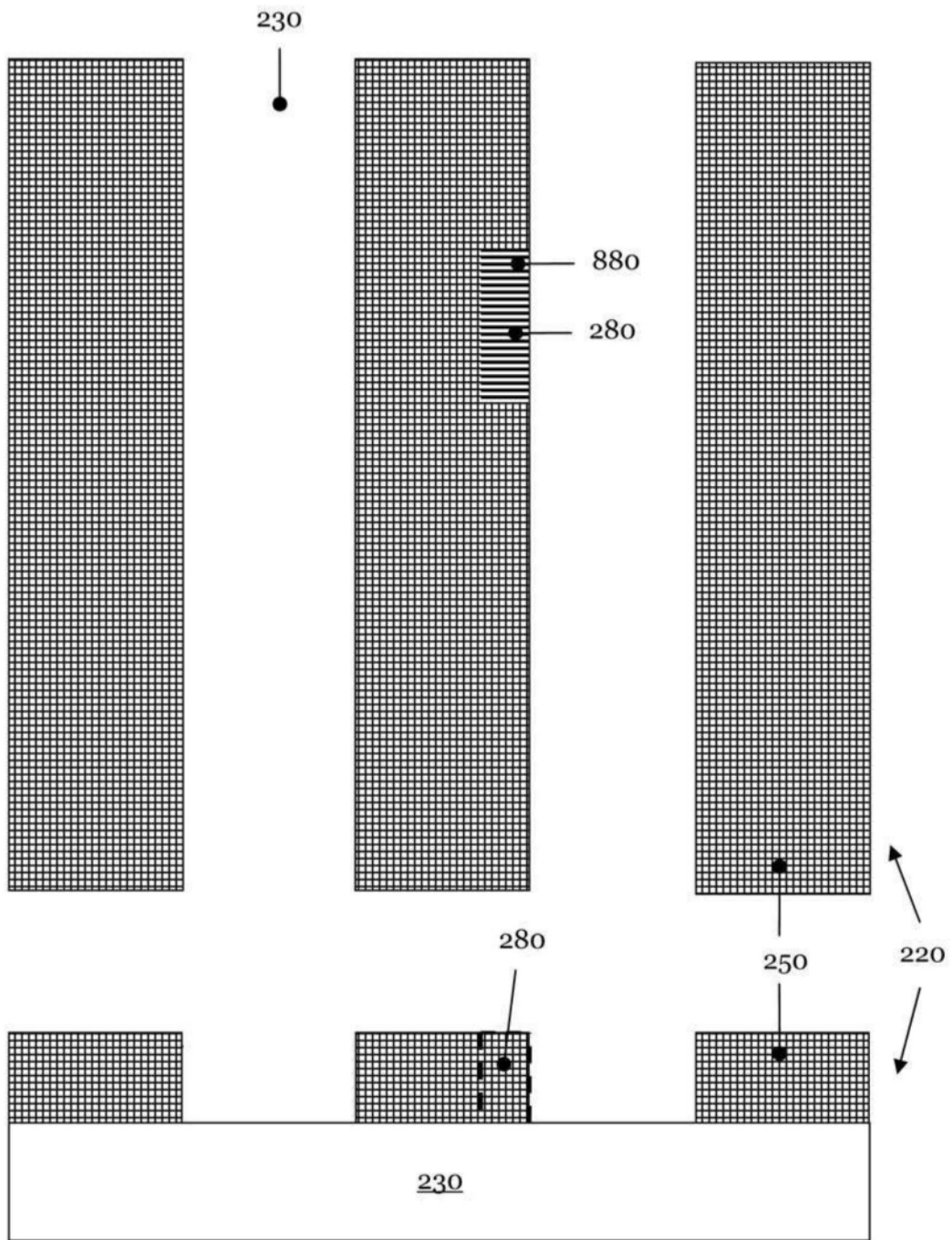


图8

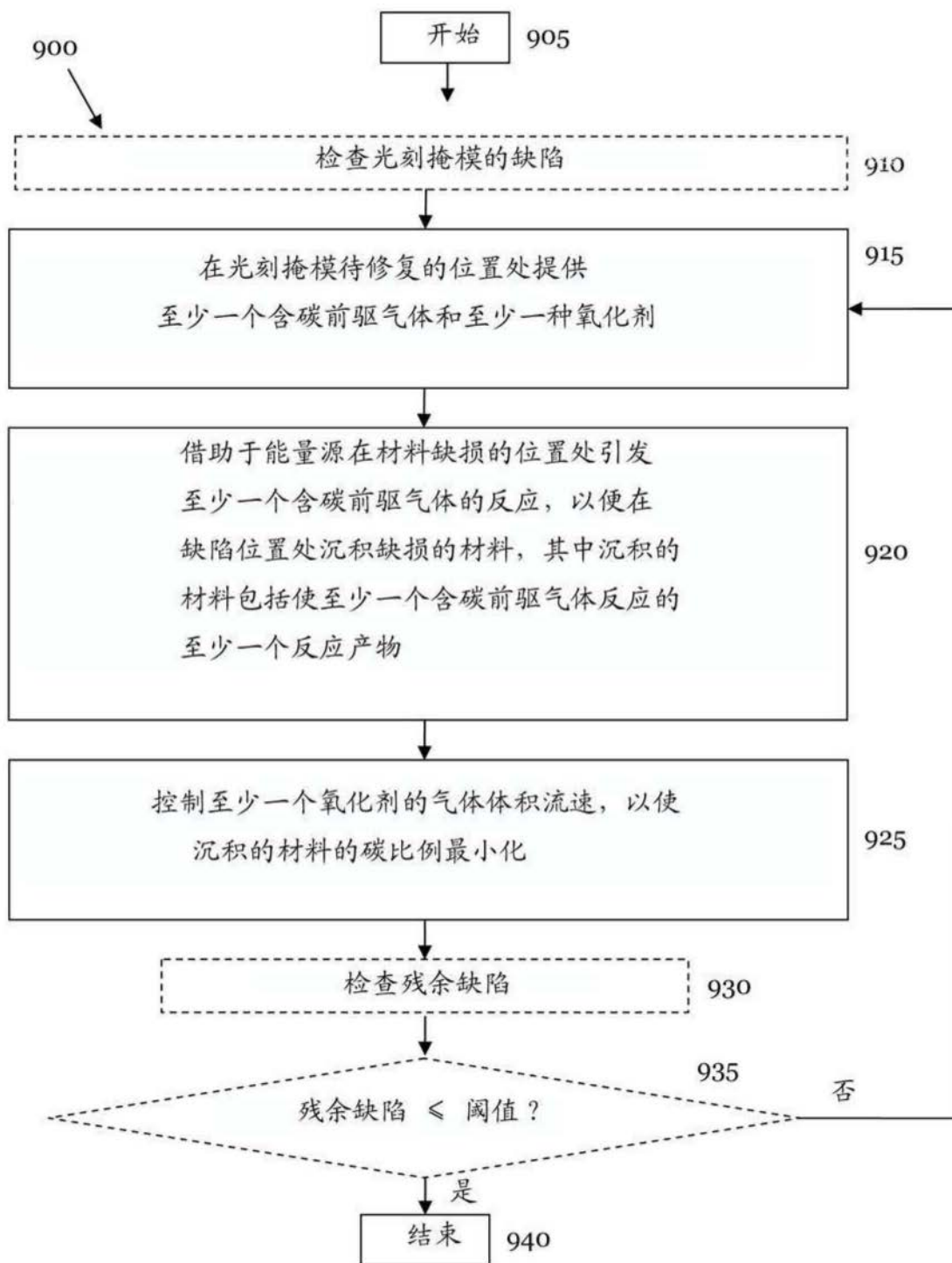


图9