



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1639638 B

(45) 授权公告日 2010.05.05

(21) 申请号 02811807.3

(22) 申请日 2002.06.21

(30) 优先权数据

09/895,511 2001.06.29 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2003.12.12

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2002/020016 2002.06.21

(87) PCT申请的公布数据

W02003/003118 EN 2003.01.09

(73) 专利权人 英特尔公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 守登·梁 艾伦·斯蒂弗斯

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 郭少俊

(51) Int. Cl.

G03F 1/00 (2006.01)

(56) 对比文件

EP 0334680 A2, 1989.09.27, 全文.

US 6114073 A, 2000.09.05, 全文.

CN 1261458 A, 2000.07.26, 说明书第2页第22行-第3页第5行, 第4页第10行-第7页第6行, 例子, 权利要求7、8.

US 5482802 A, 1996.01.09, 全文.

审查员 国红

权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 2 页

(54) 发明名称

利用电子束诱导化学刻蚀修复掩模

(57) 摘要

本发明公开了一种用于制造和无损修复掩模的方法和一种装置,所述装置包括:支架,用于安放衬底;工作台,用于在室中定位所述的支架;抽气系统,用于抽空所述室;成像系统,用于在所述衬底中定位不透明缺陷;气体传送系统,用于向所述缺陷配送反应气体;以及电子传送系统,用于将电子导向所述不透明缺陷。

1. 一种用于修复掩膜的装置,包括:
支架,用于安放所述掩膜;
工作台,布置在所述支架下方,用于在室中定位所述支架;
抽气系统,用于抽空所述室;
成像系统,布置在所述掩膜上的不透明缺陷的上方用于定位所述不透明缺陷;
气体传送系统,用于以倾斜的角度向所述不透明缺陷配送反应气体;以及
布置在所述不透明缺陷上方的电子扫描传送系统,用于扫描具有 5-125nm 的尾部直径的电子束,以便对 0.3-3.0keV 范围内的电子进行导向以诱导所述反应气体和所述不透明缺陷反应进而形成挥发性副产物,其中所述气体传送系统和所述电子扫描传送系统布置在所述成像系统的相对侧上。
2. 如权利要求 1 所述的装置,其中所述成像系统包含电子镜筒。
3. 如权利要求 1 所述的装置,其中所述电子扫描传送系统包含电子镜筒。
4. 如权利要求 1 所述的装置,其中所述衬底包含透射式深紫外线掩模。
5. 如权利要求 1 所述的装置,其中所述不透明缺陷包含铬,并且所述反应气体包含氯气和氧气。
6. 如权利要求 1 所述的装置,其中所述衬底包含反射式极远紫外线掩模。
7. 如权利要求 1 所述的装置,其中所述不透明缺陷包含吸收物,并且所述反应气体包含氟化氙。
8. 如权利要求 1 所述的装置,其中所述不透明缺陷包含碳,并且所述反应气体包含水蒸气或氧气。
9. 如权利要求 1 所述的装置,还包括聚焦系统,所述聚焦系统适用于在所述不透明缺陷上高度聚焦所述电子。
10. 如权利要求 1 所述的装置,还包括扫描系统,所述扫描系统适用于电子扫描所述不透明缺陷。
11. 如权利要求 1 所述的装置,还包括加速系统,所述加速系统适用于为电子提供低加速电压。
12. 如权利要求 1 所述的装置,还包括计算机,所述计算机适用于控制所述电子扫描传送系统。
13. 一种用于修复掩膜的方法,包括:
提供衬底;
在所述衬底上形成一个层;
将所述层图案化为第一区域和第二区域;
去除在所述第一区域中的所述层;
检测所述第一区域的不透明缺陷;
以倾斜的角度向所述不透明缺陷配送反应气体;以及
扫描具有 5-125nm 的尾部直径的电子束,以便对 0.3-3.0keV 范围内的电子进行导向以诱导所述反应气体和所述不透明缺陷反应进而形成挥发性副产物。
14. 如权利要求 13 所述的方法,其中所述反应气体刻蚀所述不透明缺陷而不损伤所述衬底。

15. 如权利要求 13 所述的方法,其中所述不透明缺陷包含铬,并且所述反应气体包含氯气和氧气。

16. 一种用于修复掩膜的方法,包括:

提供衬底;

在所述衬底上形成镜;

在所述镜上形成缓冲层;

在所述缓冲层上形成吸收物层;

将所述吸收物层图案化为第一区域和第二区域;

去除在所述第一区域中的所述吸收物层;

检测所述第一区域的不透明缺陷;

以倾斜的角度向所述不透明缺陷配送反应气体;

扫描具有 5-125nm 的尾部直径的电子束,以便对 0.3-3.0keV 范围内的电子进行导向以诱导所述反应气体和所述不透明缺陷反应进而形成挥发性副产物;以及

去除所述第一区域中的所述缓冲层。

17. 如权利要求 16 所述的方法,其中所述不透明缺陷包含吸收物,并且所述反应气体包含氟化氙。

利用电子束诱导化学刻蚀修复掩模

技术领域

[0001] 本发明一般地涉及半导体集成电路的制造。更具体而言,本发明涉及利用电子束诱导化学刻蚀来制造和修复掩模的方法。

背景技术

[0002] 在将光刻胶涂覆到半导体晶片上之后,可以利用扫描曝光机(scanner)来将光刻胶曝光至诸如标称波长为 248 纳米(nm)、193nm 或 157nm 的深紫外线(DUV)光的辐射。将晶片细分成若干邻接的等同区域,并且利用缩影投影(reduction projection)系统来以光线扫描整个掩模并将光线扫描到每一个区域之上。在每一个区域中可以制造一个或多个集成电路(IC)芯片。因为曝光并随后还进行显影处理,所以掩模确定了转移到光刻胶上的图案,其中所述掩模可以是透射式掩模或反射式掩模。

[0003] 利用 DUV 光的光学邻近校正(OPC)和相移掩模(PSM),将允许翻印(print)临界尺寸(CD)为 100 至 180nm 的特征(feature)。但是,下一代光刻技术(NGL)要求翻印具有更小 CD 的特征。作为 NGL 最主要的候选者的极远紫外线(EUV)光刻技术利用中心波长在 10 至 15nm 范围内的曝光光源。

[0004] EUV 扫描曝光机可以具有 4 个成像镜和 0.10 的数值孔径(NA),以获得 50 至 70nm 的 CD 且景深(DOF)约为 1.00 微米(μm)。或者,EUV 扫描曝光机可以具有 6 个成像镜和 0.25 的 NA,以翻印 20 至 30nm 的 CD 且 DOF 减小至约 0.17 μm 。

[0005] 在制造期间,将检测 DUV 或 EUV 掩模的缺陷。利用具有镓液态金属离子源的聚焦离子束(FIB)工具进行致命缺陷的修复。通过沉积碳或金属并随后利用气体辅助刻蚀(GAE)进行修整(trimming),将掩盖透明缺陷。使用利用离子轰击的 GAE 或物理离子溅射可以修复不透明缺陷。去除不透明缺陷的工艺应该对于下层具有足够的刻蚀选择性。所述下层在用于 DUV 的透射式掩模中为石英,或在用于 EUV 的反射式掩模中是缓冲层。

[0006] 在搜索缺陷的扫描期间或在修复缺陷期间,FIB 可能损伤掩模。溅射可能使掩模的已修复部分变得粗糙。在掩模的表面可能沉积有机污染物。镓离子可能被注入下层。镓强烈地吸收 157nm 和 EUV 处的波长,因此减小诸如 157nm DUV 掩模的透射式掩模中的透射,或减小诸如 EUV 掩模的反射式掩模中的反射。掩模的下层可能被镓带来的原子撞击进一步损伤。

[0007] 随着掩模上的特征的 CD 减小,掩模的损伤变得更加难以解决。虽然降低 FIB 中的加速电压将减小镓离子的渗透范围,但是损害了刻蚀选择性和空间分辨率。虽然限制成像时间和过扫描面积可以减小损伤,但是也可能对修复产生不利影响。虽然诸如对 157nm DUV 掩模中的石英衬底或 EUV 掩模中的缓冲层的湿法刻蚀的修复后处理将去除所注入的镓离子,但是可能使下层材料变得具有凹坑。如果足够多的材料被去除,则还可能带来相位误差(phase error)。

[0008] 因此,所需要的是用于制造和无损修复掩模的装置和方法。

附图说明

[0009] 图 1A 至图 1D 是根据本发明所形成的 EUV 掩模空片 (blank) 的横截面视图。

[0010] 图 2A 至图 2D 是根据本发明所形成的 EUV 掩模的横截面视图。

[0011] 图 3 是本发明的 EUV 掩模的横截面视图。

[0012] 图 4 是根据本发明的用于利用电子束诱导化学刻蚀修复不透明缺陷的装置的横截面视图。

具体实施方式

[0013] 在下面的详细描述中阐述了很多诸如具体材料、尺寸和工艺的具体细节,以便于充分理解本发明。但是,本领域的技术人员将了解没有这些具体细节也可以实施本发明。在另外一些例子中,没有对公知的半导体设备和工艺进行详细的描述,以避免喧宾夺主、淡化了本发明的主要内容。

[0014] 在光刻中使用掩模以在晶片上的光刻胶中翻印所期望的图案。深紫外线 (DUV) 光刻技术使用透射式掩模,以利用具有 248nm、193nm 或 157nm 的波长的光进行曝光。因为几乎所有凝聚态材料对 11–15nm 的 EUV 波长范围都具有高度的吸收性,所以极远紫外线 (EUV) 光刻技术使用反射式掩模进行曝光。

[0015] 通过选择性地去除不透明铬层的某些部分以暴露出透明的石英衬底而在 DUV 掩模中定义出所期望的图案。通过选择性地去除吸收物层的某些部分以暴露出在衬底上的多层镜而在 EUV 掩模中定义出所期望的图案。

[0016] 作为掩模制造工艺的一部分,检测 DUV 掩模和 EUV 掩模的缺陷。通常利用 DUV 光进行检测。缺陷可以呈现为透明或不透明。如果缺陷的尺寸、形状或位置可能显著地影响其附近的掩模特征的质量和翻印重现精度 (fidelity),则此缺陷被认为是致命的。致命缺陷必须被修复,否则对于正在用该掩模制造的结构,成品率将下降。本发明包括用于修复 DUV 掩模或 EUV 掩模上的不透明缺陷而不损伤下层的装置和方法。

[0017] 根据本发明的用于制造和修复 EUV 掩模的方法的各种实施例将被描述。第一,衬底 1100 被用作本发明的 EUV 掩模的起始材料,其中所述衬底 1100 具有低热膨胀系数 (CTE)、光滑的表面和低缺陷水平。在图 1A 中示出了一个实施例。衬底 1100 可以由具有有所期望属性的玻璃陶瓷材料形成。

[0018] 第二,因为 EUV 掩模依据分布式 Bragg 反射器 (distributed Bragg reflector) 的原理进行工作,所以多层 (ML) 镜 1200 被形成在衬底 1100 之上。在图 1B 中示出了一个实施例。ML 镜 1200 包括约 20 至 80 对高折射率材料 1210 和低折射率材料 1220 的交替层。在整个衬底 1100 中,厚度均匀性应优于 0.8%。

[0019] 在一个实施例中,ML 镜 1200 包括 40 对高折射率材料 1210 和低折射率材料 1220 的交替层。高折射率材料 1210 可以由约 2.8nm 厚的钼形成,而低折射率材料 1220 可以由约 4.1nm 厚的硅形成。根据需要,诸如约 11.0nm 厚的硅的覆盖层 1230 可以被形成在 ML 镜 1200 上以防止 EUV 掩模中的 ML 镜 1200 的上表面处的钼氧化。ML 镜 1200 可以在约 13.4nm 的 EUV 中心照射波长处获得约 60–75% 的最大反射率。

[0020] 离子束沉积 (IBD) 或直流 (DC) 磁控溅射可以被用来在衬底 1100 之上形成 ML 镜 1200。因为可以最优化沉积条件以消除衬底 1100 上的缺陷,所以 IBD 使得 ML 镜 1200 的上

表面中的缺陷更少且破坏更小。DC 磁控溅射是更适形 (conformal) 的, 因此产生更好的厚度均匀性, 但衬底 1100 上的任何缺陷往往通过交替层传递到 ML 镜 1200 的上表面。

[0021] 第三, 在 ML 镜 1200 的上表面之上形成缓冲层 1300。在图 1C 中示出了一个实施例。缓冲层 1300 的厚度约为 10–55nm。缓冲层 1300 可以由诸如低温氧化物 (LTO) 的二氧化硅形成。通常低于约 150°C 的低处理温度对防止 ML 镜 1200 中的交替层的相互扩散是理想的。诸如氮化硅或碳的其它材料也可以用来形成缓冲层 1300。可以通过射频 (RF) 磁控溅射沉积缓冲层 1300。

[0022] 第四, 在缓冲层 1300 之上形成吸收物层 1400。在图 1D 中示出了一个实施例。吸收物层 1400 可以由约 45–125nm 的某种材料形成, 其中该材料衰减 EUV 光, 在用 EUV 光曝光期间保持稳定, 并且与掩模的制造工艺相兼容。吸收物层 1400 可以用 DC 磁控溅射沉积。

[0023] 可以用各种金属、合金和陶瓷来形成吸收物层 1400。金属包括铝、铬、镍、钽、钛和钨。合金包括诸如铝–铜的金属复合物。陶瓷包括金属和非金属的化合物, 诸如金属的硼化物、碳化物、氮化物、氧化物、磷化物、硅化物和硫化物。实例包括硅化镍、硼化钽、锆化钽、氮化钽、硅化钽、氮化硅钽和氮化钛。

[0024] 吸收物层 1400、缓冲层 1300、ML 镜 1200 和衬底 1100 的结合得到了 EUV 掩模空片 1700。在图 1D 中示出了一个实施例。可以进一步处理在图 1D 中示出的 EUV 掩模空片 1700 以制造 EUV 掩模 1800, 其中在图 2D 中示出了它的一个实施例。

[0025] 第一, 用诸如光刻胶 1600 的辐射敏感层覆盖 EUV 掩模空片 1700。光刻胶 1600 的厚度约为 160–640nm。可以使用化学放大光刻胶 (CAR)。通过利用诸如 DUV 光或电子束的适当波长的充分辐射进行选择性地曝光, 并随后进行湿法或干法显影处理, 在光刻胶 1600 中形成所期望的图案。图 2A 中示出了一个实施例。在显影光刻胶 1600 中的图案后, 利用光学工具或扫描电镜 (SEM) 测量特征的临界尺寸 (CD)。

[0026] 可以使用反应离子刻蚀 (RIE) 来将图案从光刻胶 1600 转移到下面的吸收物层 1400 之中。例如, 可以利用诸如 Cl_2 或 BCl_3 的含氯气体, 或诸如 NF_3 的含氟气体干法刻蚀吸收物层 1400。氩气可以作为载气。在某些情况下, 可以包含氧气。通过修改反应器室的配置和调节诸如功率、压力、衬底温度和气体流速的参数, 可以改变刻蚀速率和刻蚀选择性。

[0027] 缓冲层 1300 起到刻蚀终止层的作用以有助于在上面的吸收物层 1400 中形成良好的刻蚀形貌。此外, 缓冲层 1300 防止下面的 ML 镜 1200 在上面的吸收物层 1400 的刻蚀期间受到损伤。缓冲层 1300 还防止下面的 ML 镜 1200 在用于去除吸收物层 1400 中的不透明缺陷的任何后续修复期间受到损伤。

[0028] 在完成刻蚀之后, 光刻胶 1600 被去除, 并且利用光学工具或扫描电镜 (SEM) 测量在吸收物层 1400 中形成的特征的 CD。在任何适当的时候, 可以利用干涉仪来测量光信号的相位以及振幅。然后, 利用显微镜或自动检测工具检测掩模的缺陷。掩模检测工具可以将光学技术和对掩模进行扫描相结合以获取图像。产生 UV/DUV 光的激光常常被用作照射源。典型的波长包括但不限于 488nm、365nm、266nm、257nm、248nm、198nm 和 193nm。越短的波长提供越高的分辨率, 并且对于在掩模上发现的缺陷的光刻结果可以是更好的预测者。

[0029] 通常通过比较被翻印在掩模的不同部分的两个应当相同的图案 (模对模) 或比较被翻印在掩模上的图案与该图案的对应的布局数据 (模对数据库) 来进行缺陷检测。在从光刻胶 1600 的图案转移后, 在吸收物层 1400 中可以发现缺陷。缺陷可以呈现为透明缺陷

1710 或呈现为不透明缺陷 1720。图 2B 中示出了一个实施例。在透明缺陷 1710 处,本来应该存在吸收物层 1400,但它全部或部分地缺失。在不透明缺陷 1720 处,本来应该没有吸收物层 1400,但它全部或部分地存在。

[0030] 可以使用聚焦离子束 (FIB) 工具来利用诸如碳的不透明材料 1730 覆盖透明缺陷 1710。也可以通过从有机金属前驱 (precursor) 气体的离子束诱导金属沉积修复透明缺陷。举例来说,可以由六羰基钨 (或 $W(CO)_6$) 的气体沉积钨。可以进行利用气体辅助刻蚀 (GAE) 的沉积后修整来消除任何过度喷涂 (overspray) 并获得不透明材料 1730 的理想的修复后尺寸。溴气或氯气可以被用于 GAE。所沉积的不透明材料 1730 不需要和透射式掩模上的铬或反射式掩模上的吸收物层 1400 具有相同的厚度。所沉积的不透明材料 1730 应该与用来清洁掩模的化学制品相兼容。

[0031] 本发明希望使用电子束诱导化学刻蚀来修复在 DUV 掩模或 EUV 掩模上的不透明缺陷 1720。因为其基本上是化学的,所以电子束诱导化学刻蚀对于下层具有高度选择性,而不同于由于离子轰击而总是具有物理成分的 FIB 或 GAE。和在 FIB 中利用离子束不同,电子束将不会通过离子注入或通过原子撞击来损伤下层。图 2C 中示出了一个实施例。

[0032] 在 EUV 掩模中,缓冲层 1300 覆盖 ML 镜 1200,并在上面的吸收物层 1400 的修复期间保护 ML 镜 1200 不受损伤。缓冲层 1300 所需的厚度取决于通过修复处理将要去掉的材料量。因此,高度刻蚀选择性允许在 EUV 掩模上使用薄缓冲层 1300。薄缓冲层 1300 导致了更低的整体吸收物叠层 (stack),这减小了阴影效应并改善了成像。薄缓冲层 1300 还减小了在完成修复后去除缓冲层 1300 期间产生可翻印缺陷的可能性。

[0033] 当 EUV 掩模 1800 被用来曝光晶片上的光刻胶时,缓冲层 1300 将增强 ML 镜 1200 之上的光吸收。结果是使衬度下降,这将轻微地降低被翻印在晶片上的光刻胶中的特征的 CD 控制。为了防止这种降低,在缓冲层 1300 的没有被吸收物层 1400 覆盖的任何地方,缓冲层 1300 都被去除。

[0034] 当去除缓冲层 1300 的被曝光部分时,一定不能损伤上面的吸收物层 1400 和下面的 ML 镜 1200。由二氧化硅形成的缓冲层 1300 可以利用诸如 CF_4 或 C_5F_8 的含氟气体进行干法刻蚀。在某些情况下,可以包含氧气或诸如氩的载气。或者,薄缓冲层 1300 可以进行湿法刻蚀,因为对吸收物层 1400 的任何下切 (undercut) 因而将较小。例如,由二氧化硅形成的缓冲层 1300 可以用约 3-5% 氢氟酸的水溶液进行刻蚀。如果需要的话,可以使用干法刻蚀和湿法刻蚀的组合。

[0035] 上述处理的结构得到了 EUV 掩模 1800,所述 EUV 掩模 1800 具有反射区 1750 和非反射区或暗区 1760。图 2D 中示出了一个实施例。

[0036] 本发明的另一个实施例是如图 3 中所示的 EUV 掩模 2700。EUV 掩模 2700 包括吸收物层 2400、薄缓冲层 2300、ML 镜 2200 和衬底 2100。EUV 掩模 2700 具有第一区域 2750 和第二区域 2760。因为 ML 镜 2200 是暴露的,所以第一区域 2750 具有反射性。由于吸收物层 2400,所以第二区域 2760 是非反射性的,或暗的。

[0037] 第一,本发明的 EUV 掩模 2700 包括诸如玻璃陶瓷材料的衬底 2100,其具有低热膨胀系数 (CTE)、低缺陷水平和光滑的表面。

[0038] 第二,多层 (ML) 镜 1200 被置于衬底 2100 之上。ML 镜 2200 具有约 20 至 80 对高折射率材料 2210 和低折射率材料 2220 的交替层。

[0039] 在一个实施例中,ML 镜 2200 包括 40 对高折射率材料 2210 和低折射率材料 2220。高折射率材料 2210 可以由约 2.8nm 厚的钼形成,而低折射率材料 2220 可以由约 4.1nm 厚的硅形成。ML 镜 2200 在约 13.4nm 的 EUV 中心照射波长处具有约 60-75% 的最大反射率。

[0040] 第三,超薄缓冲层 2300 被置于 ML 镜 2200 之上。超薄缓冲层 2300 的厚度约为 10-55nm。超薄缓冲层 2300 防止下面的 ML 镜 2200 在上面的吸收物层 2400 的刻蚀期间受到任何的损伤。超薄缓冲层 2300 还防止下面的 ML 镜 2200 在用于去除不透明缺陷的修复期间受到损伤。

[0041] 超薄缓冲层 2300 可以是诸如低温氧化物 (LTO) 的二氧化硅。诸如氮化硅或碳的其它材料也可以用于超薄缓冲层 2300。

[0042] 第四,吸收物层 2400 被置于超薄缓冲层 2300 之上。吸收物层 2400 可以是约 45-125nm 的某种材料形成,其中该材料衰减 EUV 光,在用 EUV 光曝光期间保持稳定,并且与掩模的制造工艺相兼容。

[0043] 吸收物层 2400 可以包括一种或多种金属、合金和陶瓷。金属包括铝、铬、镍、铈、钽、钛和钨。合金包括诸如铝-铜的金属复合物。陶瓷包括由金属和非金属形成的化合物,诸如各种金属的硼化物、碳化物、氮化物、氧化物和硅化物。实例包括硅化镍、硼化钽、锆化钽、氮化钽、硅化钽、氮化硅钽和氮化钛。

[0044] 本发明还提供一种装置 400,该装置 400 通过使用电子束诱导化学刻蚀来修复 DUV 或 EUV 掩模 410 上的不透明缺陷 405。图 4 中示出了一个实施例。

[0045] 在本发明所要求保护的装置 400 中,待修复的掩模 410 被安放在支架 420 上。通过工作台 430 将支架 420 置于室 470 中。工作台 430 可以在不同方向上诸如沿着 x 轴、y 轴和 z 轴移动、旋转和倾斜。利用成像系统 440 来定位掩模 410 上的不透明缺陷 405。成像系统 440 可以包括电子镜筒 (electron column)。

[0046] 气体传送系统 450 将来自气源的一种或多种气体向室 470 中的衬底 410 上的不透明缺陷 405 配送。可以通过一个或多个诸如喷嘴的开口将气体输入室 470 中。通过调节流量控制阀保持所期望的流速。

[0047] 关键参数包括喷嘴尺寸、喷嘴相对于掩模的倾斜角、配送气体的角度分布和喷嘴的开口到掩模表面的距离。典型值包括但不限于:喷嘴直径 100-300 微米 (μm)、喷嘴倾斜角度 45-70 度 (从垂直方向)、角度分布 5-25 度以及从喷嘴开口到掩模表面的距离 50-150 μm 。

[0048] 气体可以包括反应气体和载气。反应气体的选择取决于待刻蚀的材料。在本发明的一个实施例中,反应气体被不透明缺陷 405 吸附,并被解离 (dissociate)。载气的一个实例是氩气。

[0049] 在 DUV 透射式掩模 410 中,不透明缺陷 405 可以包括诸如铬、氧化铬、氮化铬或氮化铬的材料。下层可以包括石英。可以利用电子传送系统 460 来诱导诸如氯气 (Cl_2) 和氧气 (O_2) 的反应气体,以对不透明缺陷 405 进行化学刻蚀,这相对于下层具有 2 : 1 或更大的选择性。

[0050] 在 EUV 反射式掩模 410 中,不透明缺陷 405 可以包括诸如氮化钽的吸收物层材料。下层可以包括诸如二氧化硅的缓冲层材料。可以利用电子传送系统 460 来诱导诸如氟化氙 (XeF_2) 或四氟化碳 (CF_4) 或氟气 (F_2) 的反应气体,以化学刻蚀不透明缺陷 405,这相对于下

层具有 10 : 1 或更大的选择性。可以通过抽气系统 480 从室 470 去除诸如氟化钽的挥发性副产物。

[0051] 当不透明缺陷 405 包括含碳材料时,可以利用电子传送系统 460 来诱导诸如水蒸气 (H_2O) 或氧气 (O_2) 的反应气体,以化学刻蚀不透明缺陷 405,这相对于下层具有 10 : 1 或更大的选择性。举例来说,碳刻蚀可以被用来修复 EUV 掩模 410 上的不透明缺陷 405,其中所述 EUV 掩模 410 具有含碳的导电缓冲层。碳刻蚀也可以被用来修复掩模 410 上的光刻胶图案中的不透明缺陷 405,以增加图案化成品率并减少重复工作。此外,对于在掩模 410 经过了附加处理之后要求进行的更困难的修复,碳刻蚀可能是有益的。

[0052] 用于诱导化学刻蚀的电子传送系统 460 可以类似于在 SEM 中用来成像样品的电子镜筒,除了前者对电子束的聚焦和扫描控制更加复杂这点不同。具体来说,诸如束流、像素间距、停留时间、扫描速率、刷新时间和回描时间的关键参数可以由计算机控制以最优化刻蚀速率、刻蚀几何形状、刻蚀均匀性和表面粗糙度。

[0053] 电子传送系统 460 将电子导向室 470 中的掩模 410 上的不透明缺陷 405。电子传送系统 460 可以包括聚焦系统以提供高度聚焦的电子束。在一个实施例中,高度聚焦的意思是电子束的尺寸小于二次电子的范围。在另一个实施例中,高度聚焦的意思是电子束的尺寸小于待修复的最小致命缺陷的尺寸的约 30%。总而言之,电子束具有约 5-125nm 的典型尾部直径 (tail diameter)。

[0054] 电子传送系统 460 使用诸如 0.3-3.0keV 范围内的低加速电压,以限制掩模 410 的表面上的发射电子的横向扩展。低电压也使表面充电最小化。发射电子包括二次电子和背散射电子。当二次电子与在掩模 410 的表面上被吸附和解离的反应气体相互作用时,诱导了不透明缺陷 405 的化学刻蚀。如果需要的话,可以监测二次电子的电流以探测刻蚀的终点 (endpoint)。

[0055] 在大多数情况下,电子束诱导化学刻蚀是反应控制 (reaction-limited) 的,而不是传质控制 (mass transfer-limited) 的。反应气体对不透明缺陷 405 的化学刻蚀产生从掩模离解并可以被从保存掩模 410 的室 470 中去除的挥发性副产物。抽气系统 480 从室 470 抽空气体和挥发性材料,因此在室 470 的内部产生真空。

[0056] 不透明缺陷 405 的电子束诱导化学刻蚀速率取决于反应气体的分压和电子束的电流密度。室 470 中的压力可以全局约为 0.001-0.200 毫托 (mT),而在所修复的掩模 410 上的不透明缺陷 405 上局部约为 0.500-10.000mT。电子束电流可以是约 0.050-1.000 纳安 (nA)。电子束诱导化学刻蚀速率常常取决于二次电子的产率。对于约 1.0keV 或更小的加速电压,刻蚀速率常常达到最大值。

[0057] 上面阐述了很多实施例和细节,以便于充分理解本发明。本领域的技术人员应该理解,一个实施例中的许多特征对于另外的实施例同样是适用的。本领域的技术人员还应该理解,可以对在此所描述的具体材料、工艺、尺寸、浓度等进行各种等同替换。应该理解对本发明的详细说明应该被认为是示例性的而不是限制性的,其中本发明的保护范围应该由其权利要求确定。

[0058] 如此,我们已经描述了用于制造和无损修复掩模的装置和方法。



图 1A

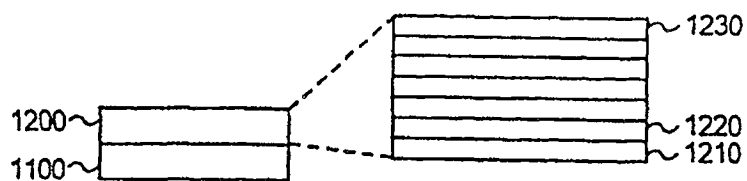


图 1B

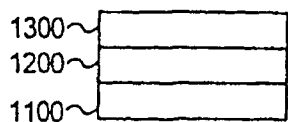


图 1C

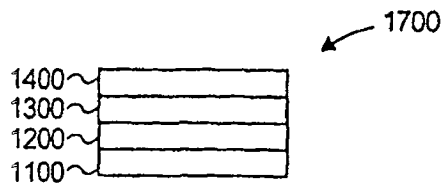


图 1D

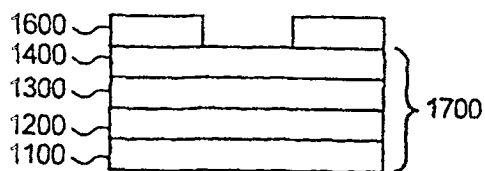


图 2A

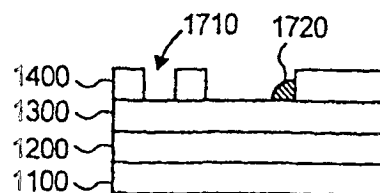


图 2B

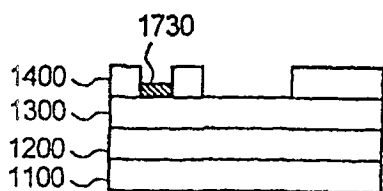


图 2C

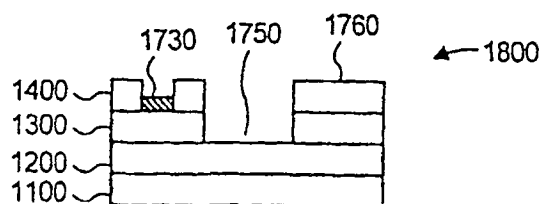


图 2D

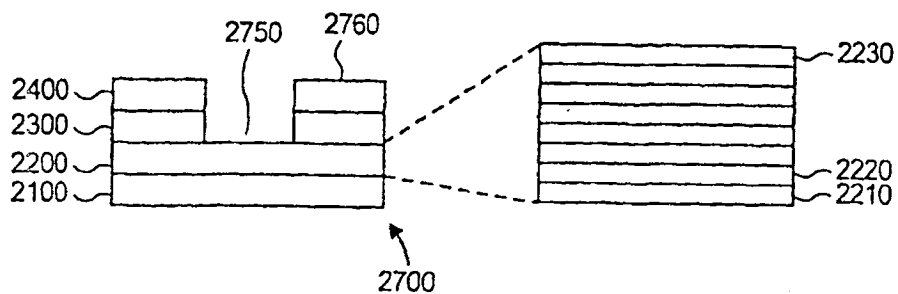


图 3

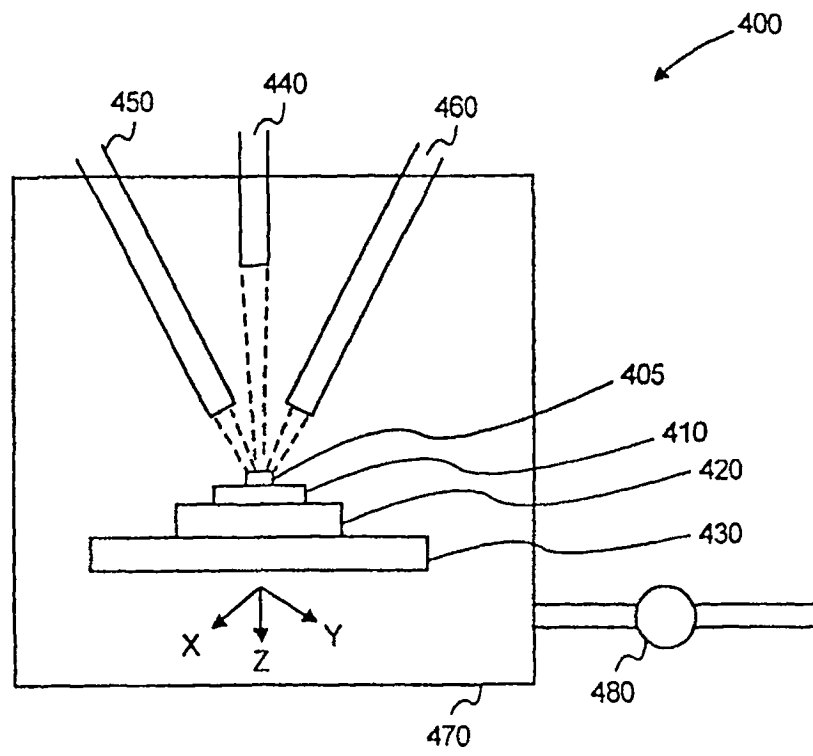


图 4