



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114088741 A

(43) 申请公布日 2022. 02. 25

(21) 申请号 202110657931.9 *G01N 23/20058* (2018.01)

(22) 申请日 2021.06.11 *G01N 23/205* (2006.01)

(30) 优先权数据 *G01N 23/2055* (2018.01)
16/900749 2020.06.12 US *G01N 23/207* (2006.01)
G01N 23/2206 (2018.01)

(71) 申请人 FEI 公司 *G01N 23/2251* (2018.01)
地址 美国俄勒冈州 *G01N 23/2202* (2018.01)

(72) 发明人 邓雨辰 P·H·F·特罗姆潘纳斯
B·贝伊斯 A·亨斯特拉

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 张凌苗 周学斌

(51) Int. Cl.
G01N 23/04 (2018.01)
G01N 23/20 (2018.01)
G01N 23/20008 (2018.01)

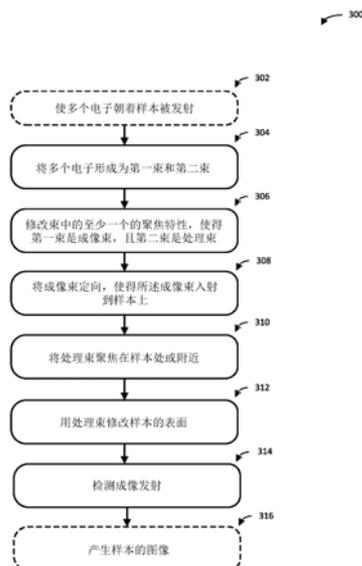
权利要求书2页 说明书39页 附图17页

(54) 发明名称

用于在样品处理期间进行成像的双束显微镜系统

(57) 摘要

用于在样品处理期间进行成像的双束显微镜系统。根据本公开,用于使用双束显微镜系统来同时处理样品并对所述样品的处理部分进行成像的方法包含以下初始步骤:朝着所述样品发射多个电子;将所述多个电子分离成两个电子束;以及随后修改所述电子束中的至少一个的聚焦特性,使得所述两个电子束具有不同的焦平面。一旦所述两个电子束具有不同的焦平面,就聚焦所述第一电子束,使得所述第一电子束充当STEM束。然后,使用所述STEM束来处理所述样品的区域以引起物理变化(例如,执行研磨、沉积、电荷调节、相变等)。聚焦所述第二电子束以充当TEM束从而对所述样品的正被处理的所述区域进行成像。



1. 一种用于双焦点多束样品处理的方法,所述方法包括:
朝着样品发射多个电子;
将所述多个电子分离成第一电子束和第二电子束;
修改所述第一电子束和所述第二电子束中的至少一个的聚焦特性;
用所述第一电子束处理所述样品的区域以引起所述样品的物理变化;以及
在所述处理期间用所述第二电子束对所述样品的所述区域进行成像。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述处理和所述成像同时执行。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中处理所述样品的所述区域包括将所述第一电子束聚焦到样品的表面处或附近的平面上。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述处理进一步包括以下各项中的至少一个:
将气体引入到邻近所述样品的所述区域的体积;
引起对所述样品的辐射损伤;
引起对所述样品的辐射区域的相变;
电子束引起的蚀刻;
用所述第一电子束进行气体辅助蚀刻;
释放低温样品的张力;以及
电子束引起的沉积。
5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述处理包括减少对所述样品的所述区域的电荷和/或偏置效应。
6. 根据权利要求1所述的方法,其中对所述样品的所述区域进行成像包括用所述第二电子束执行TEM成像。
7. 根据权利要求1所述的方法,其进一步包括使用快速消隐器来阻挡所述第一束,且在阻挡所述第一束时,用所述第二电子束对所述样品的所述区域进行再成像。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第二束是所述样品的平面处的平行或近乎平行的束。
9. 根据权利要求1所述的方法,其中对所述样品的所述区域进行成像包括:
用定位于所述样品下游的检测器检测所述第二电子束和/或由于入射到所述样品上的所述第二束而散射的电子;以及
基于检测到的第二电子束和/或由于入射到所述样品上的所述第二束而散射的电子,产生所述样品的所述区域的一个或多个图像。
10. 根据权利要求9所述的方法,其中所述第一电子束在所述样品处的倾斜角使得所述第一电子束不入射到所述检测器上。
11. 根据权利要求9所述的方法,其中所述第一电子束的至少一个未散射部分被阻挡,使得所述未散射部分不撞击所述检测器。
12. 根据权利要求9所述的方法,其中所述第一电子束被物镜光阑阻挡。
13. 根据权利要求1所述的方法,其中修改所述第一电子束和所述第二电子束中的至少一个的聚焦特性包括向所述束中的至少一个施加至少一种四极透镜效应。
14. 根据权利要求13所述的方法,其中所述至少一种四极透镜效应由MEMS装置和多光阑装置中的一个施加。

15. 根据权利要求1所述的方法, 其中将所述多个电子分离成所述第一电子束和所述第二电子束包括将所述多个电子分离成轴向第一电子束和非轴向第二电子束。

用于在样品处理期间进行成像的双束显微镜系统

背景技术

[0001] 带电粒子显微镜用于执行许多样品处理应用,包含电路编辑和材料分析。但是,使用当前的带电粒子显微镜系统无法实现在样品处理期间进行实时成像。这样无法监测正被处理的样品区域意味着直到处理结束后才能诊断和/或校正附带的增长/蚀刻或处理错误。例如,取决于样品组成和真空室的气氛,在样品处理期间可能存在附带的沉积、蚀刻和/或氧化,直到样品处理停止,用户才能意识到这些问题。

[0002] 由于当前用户需要接受不精确的性能,或者通过有规律地停止样品处理以进行成像而大幅度减少生产时间,因此这样无法在处理样品时监视样品从根本上限制了带电粒子显微镜对样品处理的有用性。因此,需要可同时处理样品并对样品的区域进行成像的系统。

发明内容

[0003] 根据本公开,用于使用双束显微镜系统来同时处理样品并对所述样品的处理部分进行成像的方法包含以下初始步骤:朝着所述样品发射多个电子;将所述多个电子分离成第一电子束和第二电子束;以及随后修改所述第一电子束和所述第二电子束中的至少一个的聚焦特性,使得所述两个电子束具有不同的焦平面。一旦所述两个束具有不同的焦平面,根据本发明的方法包含聚焦所述第一电子束以使得所述第一电子束充当聚焦在所述样品处的STEM束的额外步骤。然后,使用所述STEM束来处理所述样品的区域以引起物理变化(例如,执行研磨、沉积、蚀刻、污染增长、电荷调节、辐射损伤、样品变形、加热、相变等)。

[0004] 该方法进一步包含聚焦所述第二电子束,使得所述第二电子束充当TEM束,所述TEM束用于对所述样品的正被处理的所述区域进行成像,以使用户可实时或近乎实时检视所述样品的所述物理变化。在一些实施例中,所述STEM束和所述TEM束入射到所述样品上的相对角使得所述STEM束和/或由所述STEM束产生的样品发射被束阻挡器阻挡,从而使得检测器至少初步检测所述TEM束和/或由所述TEM束产生的样品发射。所述方法可包含使用束偏转器来偏转所述STEM束,使得所述STEM束不再被检测到(例如,使得所述STEM束被束阻挡器阻挡,或者移动到检测器系统的视野之外)。以此方式,当所述STEM束偏转时,所述TEM束和/或由所述TEM束产生的样品发射可用于产生图像,而不会受到所述STEM束和/或由所述STEM束产生的样品发射的干扰。

[0005] 替代地或另外,可使用图像处理技术来区分所述STEM束和/或由所述STEM束产生的样品发射与所述TEM束和/或由所述TEM束产生的样品发射。以此方式,所述图像处理技术能够隔离所述TEM束和/或由所述TEM束产生的样品发射,使得可形成所述样品的所述处理区域的TEM图像。

附图说明

[0006] 参照附图进行了详细描述。在附图中,附图标记最左侧的一个或多个数字标识首次出现所述附图标记的附图。不同附图中相同的附图标记指示类似或相同的项。

[0007] 图1展示了根据本发明的用于在处理样品的同时对样品的处理部分进行成像的示

例双束系统。

[0008] 图2展示了在通过双束系统对样品进行研究期间同时与样品交互的成像束和处理束的示例实施例。

[0009] 图3是根据本发明的用于同时处理样品并对样品进行成像的样品过程。

[0010] 图4是根据本发明的用处理束蚀刻样品而同时用成像束对所述样品进行成像的图。

[0011] 图5是处理束用于对样品执行气体辅助沉积而成像束同时用于对样品进行成像的图。

[0012] 图6展示了根据本发明的双焦点多束系统的光学性能。

[0013] 图7展示了用于研究样品的示例双焦点多束系统,其中双焦点束成形器包括MEMS装置。

[0014] 图8展示了根据本发明的示例MEMS装置。

[0015] 图9展示了包括四个电极的MEMS装置的示例实施例的俯视示意图。

[0016] 图10展示了包括七个电极的MEMS装置的示例实施例的俯视示意图。

[0017] 图11展示了当示例实施例双焦点束成形器引起施加到其的至少一种四极透镜效应时引起的第二电子束的畸变。

[0018] 图12展示了用于研究样品的双焦点多束系统的示例实施例,其中双焦点束成形器包括光阑透镜阵列。

[0019] 图13展示了示例光阑透镜阵列的示例电极。

[0020] 图14展示了示例光阑透镜阵列的示例光阑限定结构。

[0021] 图15展示了具有一个光阑限定结构的示例光阑透镜阵列的横截面。

[0022] 图16-24展示了可以在图23中所展示的多光阑组合件中使用的示例中央结构。

[0023] 图25展示了示例光阑透镜阵列的横截面,所述示例光阑透镜阵列包括第一电极、第二电极和光阑限定结构。

[0024] 图26展示了用于研究样品的双焦点多束系统的示例实施例,其中双焦点束成形器包括分束机构和一个或多个聚焦装置。

[0025] 贯穿附图的若干视图,相同的附图标记指代对应部分。通常,在附图中,以实线展示了可能包含在给定实例中的元件,而以虚线展示了对于给定实例而言任选的元件。然而,以实线展示的元件对于本公开的所有实例不是必需的,并且以实线展示的元件可以在不脱离本公开的范围的情况下从特定实例中省略。

具体实施方式

[0026] 本文中包含用于使用双束显微镜系统来同时处理样品并对样品的处理部分进行成像的方法和系统。更具体地,本文所公开的方法和系统包含和/或被配置成允许带电粒子显微镜用第一束对样品执行TEM成像,同时使用第二束在样品上引起物理变化。在所述方法和系统中,由电子源发射的多个电子被分离成第一电子束和第二电子束,并且第一电子束和第二电子束中的至少一个的聚焦特性被修改使得第一电子束和第二电子束的对应焦平面不同。然后,可聚焦和/或定向这两个束,使得第一电子束(例如,成像束)入射到样品上,而第二电子束(例如,处理束)引起样品的表面的所要物理变化。示例物理变化可包含但不

限于研磨、沉积、蚀刻、污染增长、电荷调节、辐射损伤、样品变形、加热，相变等。这允许监测和调节样品的处理以校正错误、附带增长、附带研磨、附带沉积等。

[0027] 在各个实施例中，显微镜系统可以包含至少一个束阻挡器，所述束阻挡器使得两个束之一、两个束中的两者被阻挡或两个束都不被阻挡。例如，可将束阻挡器定位在样品下方从而阻挡STEM束。替代地或另外，也可以将束阻挡器定位在样品上方，使得所述束阻挡器选择性地阻挡两个束中的一个或两个。一个或多个束阻挡器可以是固定的，或能够移动位置以便暂时阻挡所要束或其组合。在一些实施例中，束阻挡器可用于防止成像束和/或由入射到样品上的成像束产生的发射到达检测器。例如，成像束可以某一倾斜角入射到样品上，使得通过位于样品下游的束阻挡器或物镜光阑来防止成像束和/或由入射到样品上的成像束产生的发射到达检测器。此外，在一些实施例中，可将束阻挡器定位成使得：当束偏转时，束阻挡器阻挡偏转束。

[0028] 图1是根据本发明的一个或多个双焦点多束系统100的图示，所述双焦点多束系统被设置为同时处理样品，同时还对样品的处理部分进行成像。具体地，图1展示了用于同时处理样品104并对所述样品进行成像的一个或多个示例双焦点多束系统102。所述一个或多个示例双焦点多束系统102可包含电子显微镜(EM)设置或电子光刻设置，所述设置被配置成用成像束(例如，TEM束)和处理束(例如，STEM束)照射和/或以其它方式冲射样品104。在各个实施例中，所述一个或多个双焦点多束系统102可以是或包含一种或多种不同类型的EM和/或带电粒子显微镜，如但不限于扫描电子显微镜(SEM)、扫描透射电子显微镜(STEM)、透射电子显微镜(TEM)、带电粒子显微镜(CPM)、双束显微镜系统等。另外，在一些实施例中，一个或多个双焦点多束系统102也可以是能够作为STEM操作的TEM。

[0029] 一个或多个示例双焦点多束系统102包含电子源106(例如，热电子源、肖特基发射源(Schottky-emission source)、场发射源等)，所述电子源沿着发射轴110并且朝着双焦点束成形器112发射多个电子108(即，电子束)。发射轴110为中心轴，所述中心轴沿着一个或多个示例双焦点多束系统102的长度从电子源106延伸并穿过样品104。

[0030] 双焦点束成形器112是一个或多个结构，所述一个或多个结构被配置成：(i)将多个电子108至少分离成第一电子束114和第二电子束116；并且(ii)修改第一电子束114和第二电子束116中的至少一个的聚焦特性，使得两个束中的一个变为成像束(即，被聚焦并定向以产生样品104的区域的图像的束)，且另一个束变为处理束(即，被聚焦并定向以引起样品104的物理变化的束)。在图中1，成像束被示出为TEM束，而处理束被示出为STEM束。例如，双焦点束成形器112可以修改聚焦特性，使得第一电子束114和第二电子束116具有不同的对应焦平面。图1展示了双焦点束成形器112，其将所述多个电子108分离成沿着发射轴110延伸的第一电子束114和第二电子束116。因为第一电子束114和第二电子束116中的每一个由所述多个电子108形成，所以第一电子束114和第二电子束116彼此相干。

[0031] 图1还示出了双焦点束成形器112，其向第二电子束116施加畸变，所述畸变导致第二电子束的聚焦特性不同于第一电子束114的聚焦特性。具体地，图1展示了双焦点束成形器112，所述双焦点束成形器被配置成至少产生一种四极场(即偶极场、四极场、六极场、八极场等)，所述四极场施加影响第二电子束116的四极透镜效应，使得两个束具有不同的聚焦特性。四极透镜效应可使束中的至少一个束畸变、消像散或以其它方式修改，使得束的对应聚焦特性不同。在一些实施例中，四极透镜效应可以在一个子午平面(例如，x-z平面)中

施加与在垂直子午平面(例如,y-z平面)中不同的透镜效应,从而使两个子午平面中的每个子午平面的聚焦特性中的每个聚焦特性发生不同的变化。图6所示的示例系统中展示了此消像散化。

[0032] 在此类实施例中,双焦点束成形器下游的多极元件(例如,消像散器)可以向第二电子束116之一施加互补四极透镜效应,以校正由双焦点束成形器112引起的像差,并且引起第二电子束116再次变为圆柱对称束。以此方式,多极元件使第二电子束116在此多极元件的下游呈圆柱对称,同时还具有与第一电子束114不同的焦平面。在各种设置中,此多极元件可以被放置在第一电子束114的焦平面中,使得互补四极透镜效应不施加到第一电子束114。

[0033] 在一些实施例中,双焦点束成形器112被配置成修改第一电子束114和第二电子束116中至少一个的聚焦特性,使得第二电子束116是STEM束(即,在样品104处或附近的样本平面处具有焦平面),并且第一电子束114是TEM束(即,具有对应焦平面,使得第一电子束114在样品104处或附近的样本平面处平行、基本上平行或稍微会聚)。在各个实施例中,双焦点束成形器112可修改第一电子束114的焦平面,使得焦平面聚焦在位于物镜焦距高于上部物镜128至少0.1%、1%、10%或100%的平面处。可替代地或另外,双焦点束成形器112可以被配置成修改第一电子束114和第二电子束116中至少一个的聚焦特性,使得在样品104处或附近的样本平面处的第一电子束114的直径比样本平面处的第二电子束116的直径大20倍、50倍、100倍、500倍或1000倍中的至少一个。在此类实施例中,双焦点束成形器112可以使第一电子束114的直径比第二电子束116聚焦的任何平面处的第二电子束116的直径大20倍、50倍、100倍、500倍或1000倍中的至少一个。在一些实施例中,双焦点束成形器112进一步使第一电子束114和第二电子束116中的一个或两个偏转离开发射轴110。

[0034] 可替代地,双焦点束成形器112可以修改电子束中至少一个的聚焦特性,使得第一电子束114是STEM束(即,在样品104处或附近的样本平面处具有焦平面),并且第二电子束116是TEM束(即,具有对应焦平面,使得第一电子束114在样品104处或附近的样本平面处平行、基本上平行或稍微会聚)。在此类实施例中,可修改一个或多个焦平面,使得第二电子束116聚焦在位于物镜焦距高于样品104至少0.1%、1%、10%或100%的平面处。

[0035] 尽管图1展示了双焦点束成形器112被示出为修改第二电子束116的聚焦特性的实施例,在其它实施例中,双焦点束成形器112可能会使第一电子束114或两个束的聚焦特性发生变化,使得两个束变为成像束和处理束。也就是说,本领域技术人员将理解,在不同的实施例中,描述为施加到一个束的作用或效果可施加到另一个束,以使两个束变为成像束和处理束。在各个实施例中,双焦点束成形器112或双焦点多束系统102的另一组件可对束中的一个或两个施加偏转,以使所述束充当成像束和处理束。

[0036] 在一些实施例中,双焦点束成形器112可以由单个组件组成,所述单个组件执行第一电子束114和第二电子束116的形成以及两个束中的至少一个的聚焦特性的修改。例如,双焦点束成形器112可以对应于微机电系统(MEMS),所述微机电系统既形成两个束又至少产生四极电磁场(即,偶极场、四极场、六极场、八极场等),所述四极电磁场施加至少一种四极透镜效应,所述四极透镜效应聚焦、消像散和/或以其它方式修改束中的至少一个,使得束的对应聚焦特性不同。在另一个实例中,双焦点束成形器112可以对应于包括限定多个光阑和/或腔的结构的光阑阵列,所述多个光阑和/或腔既形成两个束又至少产生一个四极电

磁场,所述至少一个四极电磁场向两个束中的一个或多个施加四极透镜效应。在一些实施例中,四极透镜效应可以在一个子午平面(例如,x-z平面)中施加正透镜并且在垂直子午平面(例如,y-z平面)中施加负透镜效应,从而导致两个子午平面中的每个子午平面的聚焦特性中的每个聚焦特性发生不同的变化。

[0037] 在此类系统中,多极元件124(例如,校正器、作为像差校正器一部分的消像散器或多极元件、四极/八极型校正器等)可以被包含在一个或多个示例双焦点多束系统100中,所述多极元件进一步向下游以施加互补四极透镜效应,以使束再次圆柱对称。例如,图1展示了包含消像散器的一个或多个双焦点多束系统102。可替代地或另外,双焦点束成形器112可以被定位和/或配置成引起电子束的一个或多个像差中的至少一个,以校正一个或多个双焦点多束系统102中的另一个像差。此系统组件可以定位在电子束的焦平面中,双焦点束成形器112不向其施加至少一种四极透镜效应。在双焦点束成形器向第一电子束114施加至少一种第一四极透镜效应,并且向第二电子束116施加至少一种第二四极透镜效应的实施例中,此类一个或多个双焦点多束系统100可以包含第一多极元件124和第二多极元件124,所述第一多极元件定位在第一电子束114的焦平面中并且被配置成向第二电子束116施加互补四极透镜效应,所述第二多极元件定位在第二电子束116的焦平面中并且被配置成向第一电子束114施加互补四极透镜效应。

[0038] 可替代地,双焦点束成形器112可以由多个组件118组成。单独组件118可以执行形成第一电子束114和第二电子束116以及修改两个束中的至少一个的聚焦特性之一,或者单独组件可以有助于形成束以及与其它组件118一致地修改聚焦特性中的一个或两个。在一些实施例中,单独组件118可以包含阻挡所述多个电子108的一部分同时允许其它穿过的物理结构、双棱镜(例如,带电电线)、由薄晶体或纳米级制造的光栅制成的分频电子分束器、配置成使用一个或多个激光模式条纹将所述多个电子108分离成第一电子束114和第二电子束116的分束激光系统等。可替代地或另外,单独组件118可以包含被定位或以其它方式配置成使第一电子束114和第二电子束116具有不同的焦平面的一个或多个透镜(例如,单透镜、四极透镜等)。例如,双焦点束成形器112可以由限定两个光阑的物理结构,以及被定位和/或配置成调节第一电子束和第二电子束中的至少一个的聚焦特性的透镜组成,使得所述束具有不同的对应焦平面。在各个实施例中,此透镜可以定位于物理结构之上或之下。

[0039] 图1展示了定位于聚焦组件120的上游的双焦点束成形器112,所述聚焦组件被配置成施加使第一电子束114和第二电子束116中的至少一个聚焦的透镜作用。此外,聚焦组件120定位于多极元件124的上游。在图1示出的一个或多个示例双焦点多束系统102中,聚焦组件对应于使第一电子束114和第二电子束116加速/减速、聚焦和/或朝着聚焦柱126引导的加速器122。然而,在其它实施例中,加速器122可以定位于电子源106与双焦点束成形器112之间,使得加速器122使电子108加速/减速、聚焦和/或朝着双焦点束成形器112引导,并且双焦点束成形器112以最终能量(例如,30 kV)分离和修改电子108的聚焦特性。在此类实施例中,聚焦组件120可以对应于被配置成施加使第一电子束114和第二电子束116中的至少一个聚焦的透镜作用的透镜或其它结构。

[0040] 聚焦柱126聚焦电子束114和116,使得它们作为成像束和处理束入射到样品104上。具体地,图1展示了聚焦柱126,所述聚焦柱聚焦第二电子束116以使其为STEM束(例如,在样品104处或附近的样本平面处具有焦平面的束),且聚焦第一电子束114以使其为TEM束

(例如,在样品104处或附近的样本平面处平行、基本上平行或稍微会聚/发散的束)。

[0041] 尽管在图1中未展示,本领域技术人员将理解,聚焦柱126可包含利用一个或多个双焦点多束系统102启用和/或增强对样品104的研究所需的一个或多个校正器(例如,Cs或Cs+Cc像差校正器)、传输透镜、偏转器(用以使成像束、处理束和/或两者偏转)、扫描圈等。例如,聚焦柱126可包含一个或多个偏转器,所述一个或多个偏转器在不使成像束偏转的情况下使处理束跨样品的表面进行扫描。可替代地,这种偏转可以由多极元件124和/或双焦点束成形器112产生的一个或多个电磁场(例如,偶极场)引起或辅助。在一些实施例中,这种动态倾斜可能是由MEMS装置双焦点束成形器112中的单独检测器/检测器系统引起的。然而,在其它实施例中,动态倾斜可能是由一个或多个宏观偏转器系统(例如,在聚光器光学器件中)引起和/或补充的。在偏转器/偏转力影响两个电子束的实施例中,双焦点多束系统102可被配置成在成像模式之间快速切换,使得可偏转STEM束,而TEM束的成像结果保持不受影响。

[0042] 图1还示出了包含物镜128的一个或多个双焦点多束系统102。物镜128是将第一电子束114和第二电子束116中的一个聚焦到样品104附近或上的点的光学元件。物镜128可以包括单极片透镜、电磁静电复合透镜、静电检测器物镜或另一种类型的物镜。例如,物镜128可对应于TEM物镜,其中样品被浸没在TEM物镜内和/或在TEM物镜136的样本前和样本后组件之间。

[0043] 图1进一步示出了包含束消隐器129的一个或多个双焦点多束系统102,所述束消隐器被配置成使得两个束之一、两个束中的两者被阻挡或两个束都不被阻挡。束消隐器129可以包括限定一个或多个光阑的物理结构,所述一个或多个光阑允许电子穿过束消隐器。例如,束消隐器129可引起束中的一个偏转,使得其被阻挡结构阻挡,所述阻挡结构例如限定光阑、刀口、法拉第杯等的结构。示例阻挡结构可对应于限定单个光阑的单个结构,所述单个光阑允许两个束都穿过,直到束消隐器129(或双焦点束成形器112)使束中的一个偏转从而不再穿过所述单个光阑为止。在另一实施例中,阻挡结构可限定允许TEM束穿过阻挡结构的第一光阑和允许STEM束穿过阻挡结构的第二光阑。然后,可偏转两个束中的一个,使得对应束不再穿过阻挡结构中的对应光阑,且因此被防止穿过阻挡结构(即,被消隐)。替代地,在一些实施例中,阻挡结构本身可被平移和/或光阑中的一个可被阻挡,使得防止束中的一个穿过阻挡结构。这允许显微镜系统在TEM操作模式、STEM操作模式和/或同步STEM和TEM操作模式之间进行切换。

[0044] 在一些实施例中,双焦点多束系统102可包含在样品104下方的至少一个束阻挡器131,所述束阻挡器防止成像束和/或由入射到样品上的处理束产生的发射到达检测器132。替代地,处理束可以某一倾斜角入射到样品上,使得通过物镜光阑来部分、大部分或完全防止处理束和/或由入射到样品上的成像束产生的发射到达检测器132。束阻挡器131可以是固定的,或能够被平移以选择性地阻挡处理束和/或由其产生的发射。在一些实施例中,束阻挡器131可以是定位在样品104与检测器132之间的阻挡STEM束的未散射部分的针。

[0045] 图1进一步展示了包含保持样品104的样品保持器130的一个或多个双焦点多束系统102。如上所述,图1示出了作为入射到样品104上的TEM束的第一电子束114和作为STEM束的第二电子束116。一个或多个双焦点多束系统102还包含定位在衍射平面中的检测器132(例如,相机),所述检测器被配置成检测第一电子束114、第二电子束116、由于入射到样品

104上的电子束114而穿过样品104的衍射电子134和由于入射到样品104上的电子束116而穿过样品104的衍射电子135。以此方式,由入射到样品上的两个束产生的样品发射和/或衍射电子由单个检测器132和/或单个检测器阵列132和140检测。因此,来自检测器132/检测器阵列140的检测器数据可产生样品的二次电子图像、TEM图像或两者。例如,在一些实施例中,通过使用束消隐器129首先阻挡第一束114,然后阻挡第二束116,一个或多个双焦点多束系统102可紧密连续地获得TEM图像和STEM图像,而不必切换退出和/或以其它方式重新配置检测器系统。

[0046] 图1进一步示出了任选地包含一个或多个计算装置142的一个或多个双焦点多束系统102。在各个实施例中,一个或多个计算装置142可以被配置成基于来自检测器132和/或检测器阵列140的检测器数据来确定或产生TEM图像和/或STEM图像。这可以包含将对应于STEM发射的检测器数据部分与对应于TEM发射的检测器数据部分分开的能力。另外,计算机系统可以能够控制一个或多个双焦点多束系统102的一个或多个功能,包括但不限于本文所讨论的过程的启动,修改一个或多个双焦点多束系统102的功能,模式之间的切换等。本领域的技术人员将理解,图1中所描绘的计算装置142仅是说明性的,并且不旨在限制本公开的范围。计算系统和装置可以包含可以执行所指示功能的硬件或软件的任何组合,包含计算机、网络装置、互联网设备、PDA、无线电话、控制器、示波器、放大器等。计算装置142也可以被连接到未展示的其他装置,或者替代地可以作为独立系统操作。

[0047] 图2是在通过示例双焦点多束系统100对样品进行研究期间同时与样品交互的成像束和处理束的图示。具体地,图2展示了示例实施例,其中第一束214为聚焦在样品104的表面处或附近的平面上的处理束,并且成像束216为基本上垂直于样品104处的样品平面的TEM束。然而,在其他实施例中,第一电子束214可充当成像/TEM照明束,并且第二电子束216可聚焦在样品的表面上以引起物理变化。图2还示出了束消隐器229,所述束消隐器使束中的一个偏转,使得所述束被阻挡结构阻挡,所述阻挡结构例如限定光阑、刀口、法拉第杯等的结构。

[0048] 限定单个光阑201,第一束214和第二束216穿过所述单个光阑。应理解,一个或多个偏转器、多极元件、双焦点束成形器或其组合可用于产生使第一束214或第二束216中的一个偏转的偏转,使得偏转束被束消隐器129消隐。

[0049] 如关于图1的注解中所论述的,第一电子束214可跨样品的所关注区域的表面扫描,以引起样品的物理变化。例如,第一电子束214可用于执行样品的研磨、样品的蚀刻(例如,气体辅助蚀刻)、样品上的沉积(例如,气体辅助沉积)、引起对样品的区域的辐射损伤、引起对样品的区域的相变、减少和/或引起样品的区域上的电荷累积、加热样品、使样品变形或其组合。例如,当执行低温电子显微镜检查时,第一电子束214可用于减少样品应变和/或熔融样品的所要部分。以此方式,用户可使用第一束214释放样品上的高应力而不会损坏所关注区域,然后使用第二电子束216来产生最终图像。在另一实例中,第一电子束214可用于在样品的区域上引起相变。可使用第一电子束214来创建此类相变图案以执行各种功能,例如像差校正。

[0050] 在另一示例使用情况下,双焦点多束系统100可包含注气系统203,所述注气系统将气体引入到第一电子束214入射到样品104上的位置附近的体积,使得第一电子束214引起样品104上的物理沉积物的累积(例如,土墩、隆脊、桥、针状结构等)。应理解,一个或多个

偏转器、多极元件、双焦点束成形器或其组合可用于产生使第一束214或第二束216中的一个偏转的偏转,使得偏转束入射到样品上的位置(即,引起物理变化的位置)发生变化。

[0051] 图2示出了第一电子束214为非轴向束,然而在其它实施例中,第一电子束214为轴向束。类似地,虽然图2展示了第二电子束216为轴向束,但在其它实施例中,第二电子束216可以是非轴向束。图2进一步示出了第二电子束216,其具有定位在物镜130上方的前焦平面204和对应于成像平面208的后焦平面206。以此方式,双焦点多束系统100能够使用第二电子束216对样品104的所关注区域执行成像,而第一电子束214用于处理样品104。这允许基于成像信息通过第一电子束214执行和/或改变对样品104的处理(例如,改变以下各项中的一个或多个:所关注区域上的第一电子束的入射的位置;所关注区域上的第一电子束的光斑大小;第一电子束的电流等)。例如,在TEM成像示出在样品104的一部分上的电荷累积的情况下,第一电子束214可被偏转以减少电荷累积。由于第二电子束216能够实时地对要监测的样品的处理进行成像,因此双焦点多束系统100允许第一电子束214的特性实时地变化。此类动态控制可使双焦点多束系统100能够可靠地引起样品104的复杂物理变化。

[0052] 在一些实施例中,样品上的第一电子束214的倾斜角209可使得第一电子束214和/或由于入射到样品104上的第一电子束而由样品104发射的电子不被检测器232检测到。例如,图2示出了物镜211的下部部分的光阑,所述光阑不允许第一电子束214和/或由于入射到样品104上的第一电子束而由样品104发射的电子被检测器232检测到。在其它实施例中,定位在样品104下方的不同阻挡结构可部分、大部分或完全阻挡第一电子束214和/或由于入射到样品104上的第一电子束而由样品104发射的电子。

[0053] 在替代实施例中,第一电子束的倾斜角209可使得第一电子束214被定位在样品104下方的任意的束阻挡器阻挡。以此方式,用电子束214对样品104的处理不会干扰(或小地干扰)用第二电子束216对样品104的TEM成像。这允许同时执行对样品的成像和处理。

[0054] 图3是作为逻辑流程图中的框集合展示的说明性过程的流程图,其表示可以以硬件、软件、人工操作或其组合来实现的操作序列。在采用软件的情况下,这些框表示存储在一个或多个计算机可读存储介质上的计算机可执行指令,这些计算机可执行指令在由一个或多个处理器执行时导致所述操作的执行。一般来说,计算机可执行指令包含执行特定功能或实施特定抽象数据类型的例程、程序、物体、组件、数据结构等。描述操作的次序并不意图解释为限制,且任何数目的所描述块可以任何次序和/或并行组合以实施所述过程。

[0055] 图3是根据本发明的用于同时处理样品并对样品进行成像的样品过程300的描述。可在一个或多个示例显微镜系统100、700、1200和2600中的任何一个中实施过程300。

[0056] 在302,由电子源向样品发射多个电子。电子源可以包含热电子源、肖特基发射源、场发射源等。电子源沿着发射轴发射多个电子。

[0057] 在304,将多个电子形成为第一电子束和第二电子束。根据本发明,多个电子通过双焦点束成形器或其部件形成为两个束。在一些实施例中,双焦点束成形器的组件限定至少一个第一光阑和第二光阑,所述第一光阑被配置成允许电子的第一部分(即,第一电子束)穿过双焦点束成形器,并且第二光阑被配置成允许电子的第二部分(即,第二电子束)穿过双焦点束成形器。可替代地或另外,双焦点束成形器可以包含双棱镜、由薄晶体或纳米级制造的光栅制成的分频电子分束器、分束激光系统或本领域技术人员已知的用于分离电子束的另一种类型的机构。

[0058] 在306处,修改第一电子束和第二电子束中的至少一个的聚焦特性,使得第一电子束是成像束,且第二电子束是处理束。具体地,根据本发明,双焦点束成形器或其组件进一步被配置成修改所述第一电子束和第二电子束中的至少一个的聚焦特性,使得所述两个束具有不同的对应焦平面。也就是说,第一电子束被修改使得所述第一电子束在样品处或附近的样本平面处平行、基本上平行或稍微会聚/发散,并且第二电子束被修改使得所述第二电子束在样品处或附近的样本平面处具有焦平面。在一些实施例中,调节两个束的聚焦特性和/或焦平面。然而,在其它实施例中,仅调节两个束之一的聚焦特性和/或焦平面。

[0059] 在308处,将成像束定向,使得所述成像束入射到样品上。例如,成像束可以是TEM束,所述TEM束被聚焦以使得当所述TEM束入射到样品上时为平行束(或在会聚TEM成像技术的情况下,稍微会聚/发散的束)。在成像过程期间,TEM束在样品上的位置和定向保持恒定。替代地,在成像束是STEM束的情况下,可使其扫描样品的所关注区域的表面。

[0060] 在310处,将处理束聚焦在样品处或附近的第二平面上。在处理期间,处理束可被系统地偏转,使得样品表面上入射有处理束的位置发生变化。也就是说,处理束可被系统地偏转,使得其跨正在被研究的样品的表面区域扫描。另外,在一些实施例中,成像束也可以被偏转。在各个实施例中,偏转可由系统的双焦点束成形器(例如,MEMS装置)与双焦点束成形器下游的宏观偏转器等来执行。

[0061] 在312处,用处理束修改样品的表面。例如,处理束可用于执行样品的研磨、样品的蚀刻(例如,气体辅助蚀刻)、样品上的沉积(例如,气体辅助沉积)、引起对样品的区域的辐射损伤、引起对样品的区域的相变、减少和/或引起样品的区域上的电荷累积、加热样品、使样品变形或其组合。

[0062] 在314处,检测电子和/或由与样品交互的成像束产生的发射。例如,定位在成像平面中的一个或多个检测器可检测电子束的透射通过样品的部分、由样品衍射的电子、来自样品的发射或其组合。这种检测可在处理束正修改样品表面时发生。

[0063] 在316处,使用检测到的发射/电子来产生样品的图像。例如,在检测到来自成像束和处理束两者的发射的情况下,产生图像可首先涉及将检测到的发射/电子的部分分成与成像束相关联的第一部分和与处理束相关联的第二部分。替代地,可阻挡处理束和/或由处理束产生的发射,使得仅检测到由于成像束引起的发射。因为图像是在由处理束修改样品的表面的同时产生的,所以用户可使用图像来实时监测处理、控制处理和/或改变处理束的特性。

[0064] 图4和图5是根据本发明的能够同时对样品进行成像并处理样品的一个或多个双焦点多束系统100的说明图。图4示出了用处理束404蚀刻样品402而同时用成像束406对所述样品进行成像的说明图。图4示出了注气系统408,所述注气系统将气体410引入到处理束404入射到样品402上的位置附近的体积,使得处理束404使样品402的一部分被去除。

[0065] 图5示出了504处理束用于对样品502执行气体辅助沉积而成像束506同时用于对样品502进行成像的说明图。图5示出了注气系统508,所述注气系统将气体510引入到处理束504入射到样品502上的位置附近的体积,使得处理束504引起样品502上的物理沉积物512的累积(例如,土墩、隆脊、桥、针状结构等)。

[0066] 图6是根据本发明的双焦点多束系统100的光学性能的图示。具体地,图6示出了双焦点多束带电粒子系统600的示例束路径,其中至少一种四极透镜效应被施加到非轴向成

像束602和轴向处理束604。

[0067] 图6描绘了朝着双焦点束成形器112发射多个电子108的电子源106。双焦点束成形器112被展示为将所述多个电子108分离成非轴向成像束602和处理束604两者。图6进一步展示了双焦点束成形器112,其向非轴向成像束602施加至少一种四极透镜效应,这改变了非轴向成像束602的聚焦特性。

[0068] 在一些实施例中,四极透镜效应的结果是非轴向成像束602不再是圆柱对称束。用于校正一个或多个像散和/或使非圆柱对称的非轴向成像束602为圆柱对称的多极元件124(例如,多极、消像散器等)在图6中被示出为定位在轴向成像束602的焦平面处。例如,多极元件124可向非轴向成像束602施加至少一种四极透镜效应,使得所述非轴向成像束在多极元件124的下游变为圆柱对称。因为校正器定位在轴向处理束604被聚焦到点的平面中,所以校正器对束的影响减到最小。此外,图6示出了多极元件124进一步被配置成施加电磁场(例如,偶极场)的实施例,所述电磁场向垂直于发射轴的束施加偏转。在图6中,此偏转使非轴向成像束602在多极元件124下游变为轴向束,并且使轴向处理束604在多极元件124下游变为非轴向束。

[0069] 聚焦柱126被示出为包含多个横向透镜。聚焦柱126被示出为聚焦非轴向成像束602,使得当成像束602入射到样本506上时,TE成像束602基本上平行(或者在非平行TEM成像的情况下是稍微会聚或发散的束)。图6进一步示出了聚焦柱126,所述聚焦柱聚焦处理束604,使得所述处理束在样本平面处或附近具有焦平面。为了展示这一点,图6描绘了插图608,所述插图示出了与样本606焦平面一致的处理束604的焦平面。

[0070] 在所描绘的实施例中,双焦点多束系统600的多束元件124和双焦点束成形机构112中的一个进一步被配置成向处理束604施加动态偏转,以使处理束604扫描样本606的表面,从而引起样本606的物理变化(例如,执行研磨、沉积、蚀刻、污染增长、电荷调节、辐射损伤、样品变形、加热、相变等)。因为该动态偏转不影响成像602,所以当样品被处理束604处理时,检测器或检测器阵列可同时获得检测器数据以用于对样品成像。

[0071] 另外,图6展示了聚焦柱126,其使处理束604与样品606具有相对角,使得所述处理束被物镜610的下部部分阻挡。在其它实施例中,处理束604与样品606具有相对角,使得所述处理束被定位在样品下方的另一类型的束阻挡器阻挡。

[0072] 图7是用于研究样品104的一个或多个双焦点多束系统100的示例实施例700的图示,其中双焦点束成形器包括MEMS装置702。一个或多个示例双焦点多束系统700包含电子源106,所述电子源沿着发射轴110并朝着加速器120发射多个电子108。加速器120使第一电子束114和第二电子束116加速/减速、聚焦和/或朝着双焦点束成形器112引导。图7展示了定位于双焦点束成形器112的上游的加速器120,如上文所讨论的,在其它实施例中,双焦点束成形器112可以定位于电子源106与加速器120之间。

[0073] 在一个或多个示例双焦点多束系统700中,双焦点束成形器112对应于MEMS装置702。MEMS装置702限定第一光阑和第二光阑,第一光阑和第二光阑各自被配置成允许所述多个电子108的一部分穿过MEMS装置702。以此方式,第一光阑和第二光阑将所述多个电子108分别分离成第一电子束114和第二电子束116。图7展示了作为轴向束的第一电子束114。

[0074] MEMS装置702进一步包括多个电极,所述多个电极被配置成使得当向其施加某些电压时,电极产生四极电磁场,所述四极电磁场向第二电子束116施加至少一种四极透镜效

应(即,偶极场、四极场、六极场、八极场等)。四极透镜效应至少使第二电子束116聚焦、消像散或以其它方式修改,使得束的对应聚焦特性不同。在一些实施例中,电极被配置成使得第一电子束114不受由电极产生的电磁场的影响和/或减小了这种影响。可替代地或另外,电极的一部分可以产生将不同的透镜效应施加到第一电子束114和第二电子束116的电磁场。

[0075] 图7展示了定位于聚焦组件120的上游的MEMS装置702,所述聚焦组件被配置成施加使第一电子束114和第二电子束116中的至少一个聚焦的透镜作用。在图7示出的一个或多个示例双焦点多束系统700中,聚焦组件对应于使第一电子束114和第二电子束116聚焦和/或朝着聚焦柱126引导的透镜120。然而,在其它实施例中,加速器122可以定位于电子源106与MEMS装置702之间,并且加速器122可以替换或增大透镜704(如图1所展示的)。

[0076] 聚焦柱126和物镜128使电子束114和116聚焦,使得所述电子束入射到样品104上。具体地,图7展示了聚焦柱126,所述聚焦柱使第二电子束116聚焦以使其聚焦在样品104上,并且使第一电子束114聚焦以使其聚焦在样品104上。图7示出了作为穿过样品104的薄部分的参考束的第二电子束116,以及作为入射到样品104上的TEM束的第一电子束114。

[0077] 在一些实施例中,修改第一电子束114和第二电子束116的所述焦平面,使得所述束中的一个聚焦在样品104处或附近的平面处,并且另一个电子束聚焦在定位于物镜焦距高于和/或低于样品104至少0.1%、1%、10%或100%的平面处。可替代地或另外,可以修改第一电子束114和第二电子束116的焦平面,使得样品104处的电子束中的一个的直径比样品处的另一个电子束的直径大5倍、10倍、20倍、50倍、100倍、500倍或1000倍中的至少一个。

[0078] 图8示出了根据本发明的MEMS装置700的示例实施例800的横截面。具体地,图8展示了MEMS装置700的横截面,所述MEMS装置被配置成将多个电子802分离成第一电子束804和第二电子束806,并且产生向第二电子束806施加至少一种四极透镜效应的电磁场模式。所述至少四极透镜效应使第一电子束804和第二电子束806具有不同的聚焦特性。例如,四极透镜效应可以在一个子午平面(例如,y-z平面)中施加正透镜效应并且在垂直子午平面(例如,x-z平面)中施加负透镜效应,从而导致两个子午平面中的每个子午平面的聚焦特性发生不同的变化。在此类实施例中,另一个系统组件(例如,校正器或消像散器)可以包含在双焦点束成形器700的下游,以施加另一个四极透镜效应,从而再次使所述束圆柱对称。

[0079] 图8展示了包含表面层808、电极层810和任选的屏蔽层812的MEMS装置700。在图8中,表面层808被示为包括薄材料(例如,箔),电子802入射到所述薄材料上。然而,本领域技术人员将理解,在其它实施例中,表面层808可以不对应于单独的组件层,而是对应于MEMS装置700的一个或多个组件的上表面(电子802入射到其上)。

[0080] 表面层808限定到第一光阑816的第一入口814和到第二光阑820的第二入口818。在一些实施例中,第一光阑814是轴向光阑(即,定位于电子802的发射轴上)并且第二光阑818是非轴向光阑。在此类实施例中,第一电子束804是轴向东。第一入口814允许电子802的第一部分(即,第一电子束804)进入第一光阑816并且穿过MEMS装置700。类似地,第二入口818允许电子402的第二部分(即,第二电子束806)穿过第二光阑820并且穿过MEMS装置700。表面层808抑制电子802的其余部分进入和/或穿过MEMS装置700的能力。

[0081] 电极层810包括被成形、定位或以其它方式配置的多个微电极,使得当将对应的电压施加到一个或多个电极时,一个或多个电极产生向第一电子束804和第二电子束806中的一个或两个施加透镜效应的电磁场模式。透镜效应使得两个束的聚焦特性被修改,使得所

述两个束具有不同的对应聚焦特性。可以修改施加到电极的电压的幅度、电极的形状和电极的厚度(L)中的一个或多个,以改变所产生的电磁场模式的强度。根据本发明,电极层810中的电极被配置成使得所述电极产生至少一种四极电磁场模式(即,偶极场、四极场、六极场、八极场等),所述四极电磁场模式向第二电子束806施加至少一种四极透镜效应。在一些实施例中,电磁场模式还可以向第一电子束804和第二电子束806中的一个或两个施加偶极场。此类偶极场可以使电子束中的至少一个在垂直于发射轴的方向上偏转。

[0082] 图8还展示了包含任选的屏蔽层812的MEMS装置700,所述屏蔽层与表面层808相反并且被配置成至少部分地使第一电子束814与施加到第二电子束816的至少四极透镜效应隔离。

[0083] 图9示出了包括四个电极的MEMS装置700的示例实施例900的俯视示意图。图9和10以实线展示了如由表面层808以实线所限定的第一入口814和第二入口818。另外,图9和10以虚线展示了电极层810的组件。本领域技术人员将认识到,虚线并不表示确切的形状,而是指示电极层810中的一般轮廓电极。

[0084] 图9示出了第一入口814的半径 R_{A1} ,所半径小于如至少部分地由电极902限定的第一光阑的半径 R_{E1} 。在示例MEMS装置900的实施例中,半径 R_{A1} 可以为10 μm 或左右,并且半径 R_{E1} 可以为14 μm 或左右或更大。图9示出了第二入口818的半径 R_{A2} ,所半径小于如至少部分地由电极902、904、906和908限定的第二光阑的半径 R_{E2} 。然而,在其它实施例中,半径 R_{E1} 和半径 R_{A1} 和/或半径 R_{E2} 和半径 R_{A2} 中的一个或两个可以相同。示例实施例900进一步被示出为具有相等和/或大约相等的半径 R_{A1} 和半径 R_{A2} ,然而并非所有实施例都要求这样做。第一入口814和第二入口818被距离D间隔开。

[0085] 在使用示例MEMS装置900期间,可以将电压施加到电极902-908中的一个或多个,使得电极产生向第二电子束施加至少一种四极透镜效应的电磁场。在一些实施例中,一个或多个电极可以接地。例如,当将第一电压V1施加到电极904,将第二电压V2施加到电极908时,示例MEMS装置900可以产生向第二电子束施加至少一种四极透镜效应的电磁场,并且电极902和906接地。在各个实施例中,V1和V2可以各自大于-20V且小于20V,然而也可以使用更大的电压。

[0086] 图10示出了包括七个电极的MEMS装置700的示例实施例1000的俯视示意图。图10示出了第一入口814的半径 R_{A1} ,所半径小于如至少部分地由电极1002、1004、1006和1008限定的第一光阑的半径 R_{E1} 。图10展示了作为轴向光阑的第一光阑814,所述多个电子的发射轴1010穿过所述第一光阑。

[0087] 图10还示出了第二入口818的半径 R_{A2} ,所半径小于如至少部分地由电极1006、1012、1014和1016限定的第二光阑的半径 R_{E2} 。然而,在其它实施例中,半径 R_{E1} 和半径 R_{A1} 和/或半径 R_{E2} 和半径 R_{A2} 中的一个或两个可以相同。

[0088] 在使用示例MEMS装置1000期间,可以将电压施加到电极1002-1008以及1012-1016中的一个或多个,使得电极产生向第二电子束施加至少一种四极透镜效应的电磁场。在一些实施例中,一个或多个电极可以接地。例如,当将介于-20V与20V的值之间的第一组电压施加到电极1004、1008、1012和1016,并且将介于-5V与5V的值之间的第二组电压施加到电极1002和1014时,示例MEMS装置1000可以产生向第二电子束施加至少一种四极透镜效应的电磁场,并且电极1006接地。

[0089] 另外,本领域的技术人员将理解,图9和10中的虚线表示电极的示例配置,并且实验将提供多个电极配置(例如,电极大小、电极形状、电极数量、电极布局、施加到电极的电压的组合等),所述多个配置会导致电极产生向第二电子束施加至少一种四极透镜效应的电磁场。此外,尽管图5和6中的每一个展示了将至少四极透镜效应施加到第二电子束的实施例,在其它实施例中,电极层可以被配置成当一组对应的电压施加到电极时,产生向第一电子束(或两个电子束)施加至少一种四极透镜效应的电磁场。

[0090] 图11是当示例实施例双焦点束成形器引起施加到其的至少一种四极透镜效应时引起的第二电子束的聚焦特性的变化的展示1100。具体地,图11示出了沿着发射轴1106发射多个电子1104的发射器1102。所述多个电子1104在圆形区域1110中撞击双焦点束成形器1108。图11示出了作为MEMS装置的双焦点束成形器1108,所述MEMS装置(i)限定分别将电子束1104分离成第一电子束1116和第二电子束1118的第一光阑1112和第二光阑1114,并且(ii)在使用时产生向第二电子束1118施加至少一种四极透镜效应的电磁场。

[0091] 如图11所展示的,在一些实施例中,至少一种四极透镜效应导致第二电子束1118畸变,使得第二电子束(i)具有与第一电子束1116不同的聚焦特性,并且(ii)不再是圆柱对称束。具体地,图11示出了在双焦点束成形器1108下游的平面1120中的第一电子束1116和第二电子束1118的横截区域,其中发射轴垂直于平面1120。当第一电子束1116跨平面1120时,第一电子束被示出为具有圆形(或接近圆形)的横截面1122,并且当第二电子束1118跨平面1120时,第二电子束被示为具有非圆形的横截面1124。申请人注意到,这些横截面不是说明根据本发明的双焦点束成形器的所有实施例的性能,而是限于双焦点束成形器1108的特定示例实施例。

[0092] 图12是用于研究样品104的一个或多个双焦点多束系统100的示例实施例1200的展示,其中双焦点束成形器包括光阑透镜阵列1203。

[0093] 一个或多个示例双焦点多束系统1202包含电子源106,所述电子源沿着发射轴110并朝着光阑透镜阵列1204发射多个电子108。光阑透镜阵列1204包括至少一个光阑限定结构1206,所述至少一个光阑限定结构限定:(i)允许第一电子束114穿过至少一个光阑限定结构1206的第一光阑;(ii)允许第二电子束116穿过至少一个光阑限定结构1206的第二光阑;以及(iii)多个其它光阑。第一光阑、第二光阑和所述多个光阑共同形成模式,当将一个或多个电压施加到光阑限定结构1206和一个或多个电极1208时,所述模式产生向第一电子束114和第二电子束116中的至少一个施加透镜效应(例如,至少一种四极透镜效应)的电磁场。透镜效应使第一电子束114和第二电子束116中的一个或两个畸变,使得它们具有不同的聚焦特性。

[0094] 光阑透镜阵列1204进一步包括一个或多个电极(例如,盘形电极)1208。一个或多个电极1208中的每个电极在向其供应电压时在对应的电极与至少一个光阑限定结构1206之间产生电场。另外,在一些实施例中,一个或多个电极1208可以物理地阻挡所述多个电子108的一部分到达至少一个光阑限定结构106。例如,电极1208中的一个可以限定允许电子的第一部分(即,第一电子束)穿过电极的第一光阑和允许电子的第二部分(即,第二电子束)穿过电极的第二光阑。

[0095] 图12展示了定位于聚焦组件120的上游的双焦点束成形器112,所述聚焦组件被配置成施加使第一电子束114和第二电子束116中的至少一个聚焦的透镜作用。在图12示出的

一个或多个示例双焦点多束系统1202中,聚焦组件对应于使第一电子束114和第二电子束116加速/减速、聚焦和/或朝着聚焦柱126引导的加速器122。

[0096] 聚焦柱126和物镜128使电子束114和116聚焦,使得所述电子束入射到样品104上。具体地,图12展示了聚焦柱126,所述聚焦柱使第二电子束116聚焦以使其聚焦在样品104处或附近的平面上,并且使第一电子束114聚焦以使其聚焦在样品104处或附近的平面处。在一些实施例中,修改第一电子束114和第二电子束116的所述聚焦特性,使得所述束中的一个聚焦在样品104处或附近的平面处,并且另一个电子束聚焦在定位于物镜焦距高于和/或低于样品104至少0.1%、1%、10%或100%的平面处。可替代地或另外,可以修改第一电子束114和第二电子束116的聚焦特性,使得样品104处的电子束中的一个的直径比样品处的另一个电子束的直径大50倍、100倍、500倍或1000倍中的至少一个。

[0097] 图13展示了示例光阑透镜阵列1204的示例1300电极1202。图13示出了作为盘形电极1302的电极1208,所述盘形电极限定允许电子穿过盘形电极1302的光阑1304。

[0098] 图14展示了示例光阑透镜阵列1204的示例1400光阑限定结构1402。示例光阑限定结构1402限定:(i)允许第一电子束穿过至少一个光阑限定结构1402的第一光阑1404;(ii)允许第二电子束穿过至少一个光阑限定结构1402的第二光阑1406;以及(iii)多个其它光阑1408。在图14所示的示例实施例中,第一光阑1404、第二光阑1406和三个光阑1408中的每一个沿着光阑限定结构1402的中线1410定位。

[0099] 图14展示了作为孔的所述多个其它光阑1408中的每个光阑,所述孔允许电子穿过光阑限定结构1402。然而,在其它实施例中,光阑1408中的一个或多个可以是腔,其中光阑限定结构1402限定了电子允许进入的空的空间,但不允许电子通过光阑限定结构。第一光阑1404、第二光阑1406和所述多个光阑1408共同形成引起电磁场的模式,所述电磁场至少向第二电子束施加透镜效应(例如,至少一种四极透镜效应)。

[0100] 图15展示了具有一个光阑限定结构的示例光阑透镜阵列1500的横截面。具体地,图15示出了包括图13的示例电极1302和图14的示例光阑结构1402的示例光阑透镜阵列1500的横截面,其中横截面的切口与示例光阑结构1402的中线1410对准。

[0101] 图15示出了沿着发射轴朝着电极1302发射的电子1502。电子1502的一部分穿过光阑1304和第一光阑1404两者,变成第一电子束1506。电子1502的另一部分穿过光阑1304和第二光阑1406两者,变成第二电子束1508。在一些实施例中,光阑透镜阵列1500包含第二电极,第二电极被定位成使得至少一个光阑限定结构1402介于两个电极之间。当将电压施加到电极1302(A)、电极1302(B)、电极1302(A)和1302(B)两者和/或光阑限定结构1402时,在电极1302与光阑限定结构1402之间会产生电磁场。尽管图15展示了包括两个电极的光阑透镜阵列1500,在一些实施例中,光阑透镜阵列1500可以仅包含一个电极(电极1302(A)或1302(B))。

[0102] 光阑透镜阵列1500被配置成使得电极1302的配置(即,一个电极、两个电极、此类电极的位置、此类电极的几何形状等)、施加到电极1302中的各个电极和光阑限定结构1402的电压(或缺少电压)以及第一光阑1404、第二光阑1406和所述多个光阑1408共同形成的模式产生电磁场,所述电磁场对第一电子束产生第一透镜效应并且对第二电子束产生第二透镜效应,其中第一透镜效应和第二透镜效应不同。例如,在本发明的实施例中,电磁场可以产生透镜效应(例如,至少一种四极透镜效应),所述透镜效应导致第一电子束1506和第二

电子束1508具有不同的聚焦特性。

[0103] 在一些实施例中,电磁场还使第一电子束1506和第二电子束1508中的一个或两个偏离发射轴1504。而且,尽管图15展示了作为沿着所述多个电子1502的发射轴1504行进的轴向束的第一电子束1508,这并不是在所有实施例中都需要的。

[0104] 图16-24示出了可以在图25中所展示的多光阑组合件2500中使用的示例中央结构。具体地,图16展示了包含孔和腔的组合的示例光阑透镜阵列的示例光阑限定结构1600。示例光阑限定结构1602限定:(i)允许第一电子束穿过至少一个光阑限定结构1602的第一光阑1604;(ii)允许第二电子束穿过至少一个光阑限定结构1602的第二光阑1606;以及(iii)多个其它光阑1608。当在使用多光阑组合件2500期间将电压至少施加到光阑限定结构1600以及电极2504和2512时,第一光阑1604、第二光阑1606和所述多个光阑1608共同形成引起电磁场的模式,所述电磁场至少向第二电子束施加透镜效应(例如,至少一种四极透镜效应)。在一些实施例中,光阑透镜结构1602包括限定第一光阑1604、第二光阑1606和所述多个光阑1608中的每一个的单个物理组件。然而,在其它实施例中,光阑透镜结构1602可以包括两个或更多个组件物理结构。

[0105] 图16展示了示例实施例,其中所述多个其它光阑1608中的五个对应于孔1610,并且所述多个其它光阑1608中的四个对应于腔1612。然而,在其它实施例中,所述多个其它光阑1608可以包括孔和腔的其它组合和/或模式,包含其中所述多个其它光阑1608中的全部排他地对应于所述孔(例如,图14中所展示的光阑限定结构)或腔中的一个的实施例。在图16所示的示例实施例中,第一光阑1604、第二光阑1606和两个其它光阑1608中的每一个沿着光阑限定结构1602的线1614定位。

[0106] 图17展示了示例光阑结构1602的横截面1700,所述示例光阑结构包括单个物理结构1702。具体地,图17示出了图16的示例光阑结构1602的实施例的横截面,其中横截面的切口与线1614对准。电子1704的第一部分被允许通过孔1706穿过物理结构1702。图17进一步示出了电子1704的第二部分被允许进入腔1708,所述腔防止它们穿过物理结构1702。

[0107] 图18展示了示例光阑结构1602的横截面1800,所述示例光阑结构包括第一物理结构1802和第二物理结构1804。具体地,图18示出了示例光阑结构1602的实施例的横截面,其中示例光阑结构包括两个结构(例如,箔),横截面的切口与线1614对准。图18展示了对应于第一物理结构1802和第二物理结构1804中的互补光阑的示例光阑结构1602中的孔1806,所述第一物理结构和所述第二物理结构一起允许电子1808的第一部分穿过光阑结构1602。图18还展示了对应于第一物理结构1802中的光阑的腔1810,所述腔不具有第二物理结构1804中的互补光阑。换句话说,腔1810被配置成使得电子1808的第二部分被允许进入第一物理结构1802与第二物理结构1804之间的空间1812,但是不允许穿过光阑结构1602。

[0108] 图19和20展示了一对组件物理结构,所述一对组件物理结构可以用于在图25所展示的光阑透镜阵列2500中形成光阑限定结构2306。具体地,图19展示了包括两个物理结构的示例光阑限定结构的示例第一组件物理结构1900。示例第一组件物理结构1900限定:(i)允许第一电子束穿过第一组件物理结构1900的第一光阑1904;(ii)允许第二电子束穿过第一组件物理结构1900的第二光阑1906;以及(iii)多个其它光阑1908。这些光阑中的每个光阑被展示为具有矩形几何形状(例如,长槽)。此类矩形光阑被配置成在使用示例光阑限定结构期间对通过它们的电子产生圆柱透镜效应。在图19所示的示例实施例中,第一光阑

1904、第二光阑1906和两个光阑1908中的每一个沿着第一组件物理结构1900的中线1910定位。

[0109] 图20展示了包括两个物理结构的示例光阑限定结构的示例第二组件物理结构2000。示例第二组件物理结构2000限定：(i) 允许第一电子束穿过第二组件物理结构2000的第一光阑2004；(ii) 允许第二电子束穿过第二组件物理结构2000的第二光阑2006；以及(iii) 多个其它光阑2008。光阑2004和2008示出为具有矩形几何形状，类似于由图19所展示的第一组件物理结构1900限定的光阑。第二光阑2006在图20中被展示为组合了矩形几何形状和圆形几何形状两者。换句话说，第二光阑2006被示出为是定位于中心并且被具有矩形几何形状的光阑覆盖的圆形光阑。第二光阑1906和第二光阑2006的几何形状的这种结合使得当电子束B穿过第二光阑1906和2006时，净四极透镜效应被施加到电子束B。类似地，第一光阑1904和第一光阑2004的几何形状使得没有净透镜效应施加到电子束A。在图20所示的示例实施例中，第一光阑2004、第二光阑2006和两个光阑2008中的每一个沿着中线2010定位。

[0110] 图21和20展示了一对组件物理结构，所述一对组件物理结构可以用于在图25所展示的光阑透镜阵列2500中形成光阑限定结构2306。具体地，图21展示了包括两个物理结构的示例光阑限定结构的示例第一组件物理结构2100。示例第一组件物理结构2100限定：(i) 允许第一电子束穿过第一组件物理结构2100的第一光阑2104；(ii) 允许第二电子束穿过第一组件物理结构2100的第二光阑2106；以及(iii) 多个其它光阑2108。此类光阑被配置成在使用示例光阑限定结构期间对通过第二光阑2106的电子产生四极透镜效应。在图21所示的示例实施例中，第一光阑2104、第二光阑2106和其它光阑2108中的每一个沿着第一组件物理结构2100的中线2110定位。

[0111] 图22展示了包括两个物理结构的示例光阑限定结构的示例第二组件物理结构2200。示例第二组件物理结构2200限定：(i) 允许第一电子束穿过第二组件物理结构2200的第一光阑2204；(ii) 允许第二电子束穿过第二组件物理结构2200的第二光阑2206；以及(iii) 多个其它光阑2208。光阑2204和2208示出为具有几何形状，类似于由图22所展示的第一组件物理结构2200限定的光阑。第二光阑2106和第二光阑2206的几何形状的组合使得没有净透镜效应施加到电子束A。类似地，第一光阑2104和第一光阑2204的几何形状使得当电子束B穿过第二光阑2106和2206时，净四极透镜效应被施加到电子束B。在图22所示的示例实施例中，第一光阑2204、第二光阑2206和两个光阑2028中的每一个沿着中线2210定位。

[0112] 图23和24展示了一对组件物理结构，所述一对组件物理结构可以用于在图25所展示的光阑透镜阵列2500中形成光阑限定结构2506。具体地，图23展示了包括两个物理结构的示例光阑限定结构的示例第一组件物理结构2300。示例第一组件物理结构2300限定：(i) 允许第一电子束穿过第一组件物理结构2300的第一光阑2304；(ii) 允许第二电子束穿过第一组件物理结构2300的第二光阑2306；以及(iii) 多个其它光阑2308。这些光阑中的每个光阑被展示为具有矩形几何形状(例如，长槽)。此类矩形光阑被配置成在使用示例光阑限定结构期间对通过它们的电子产生圆柱透镜效应。在图23所示的示例实施例中，第一光阑2304、第二光阑2306和两个光阑2308中的每一个沿着第一组件物理结构2300的中线2310定位。

[0113] 图24展示了包括两个物理结构的示例光阑限定结构的示例第二组件物理结构

2400。示例第二组件物理结构2400限定：(i) 允许第一电子束穿过第二组件物理结构2400的第一光阑2404；(ii) 允许第二电子束穿过第二组件物理结构2400的第二光阑2406；以及(iii) 多个其它光阑2408。光阑2404和2408示出为具有矩形，类似于由图23所展示的第一组件物理结构2300限定的光阑。第二光阑2306和第一光阑2404的几何形状的此组合使得没有净透镜效应施加到电子束A。类似地，第一光阑2304和第一光阑2404的几何形状使得当电子束B穿过第二光阑2306和2406时，净四极透镜效应被施加到电子束B。在图24所示的示例实施例中，第一光阑2404、第二光阑2406和两个光阑2408中的每一个沿着中线2410定位。

[0114] 图25展示了示例光阑透镜阵列2500的横截面，所述示例光阑透镜阵列包括第一电极2502、第二电极2504和光阑限定结构2506。图25示出了朝着第一电极2502发射的电子2508。第一电极2502被示为限定了一对光阑2512，所述一对光阑允许电子2508的一部分穿过第一电极2502。在一些实施例中，第一电极2502可以对应于限定两个光阑2512的导电箔。电子2508的第一部分穿过第一光阑，变成第一电子束2514。电子2508的另一部分穿过第二光阑，变成第二电子束2516。

[0115] 在所有实施例中，光阑透镜阵列2500包含第二电极2504，第二电极被定位成使得光阑限定结构2506介于两个电极之间。第二电极2504可以对应于限定光阑2518的盘形电极，所述光阑允许第一电子束2514和第二电子束2516穿过第二电极2504。

[0116] 当将一定电压施加到电极2502和2504两者和/或光阑限定结构2506时，在电极2502与电极2504之间产生电磁场。电磁场和光阑由光阑限定结构2506限定的模式共同产生使第一电子束2514和第二电子束2516具有不同焦平面的透镜效应。

[0117] 尽管是非限制性的，但是可以使用简单的代表性计算来展示本发明的一些实施例的性能，对于上游组件和下游组件而言，所述性能具有不同的阵列模式（例如，图19和20中所描绘的实施例、图21和22中所描绘的实施例、图23和24中所描绘的实施例）。为了实现这种简单的代表性计算，以下各段假定 (a) $|\phi_0(z)| \ll U$ 无处不在，(b) 在光阑限定结构2306上方，靠近光阑阵列板的场分量 $E_z = -\phi_0'(z)$ 从 E_{up} （即，光阑限定结构2506上方的非零光场）变为0，(c) 在光阑限定结构2506下方，靠近光阑阵列板的场分量 $E_z = -\phi_0'(z)$ 从0变为 E_{low} （即，光阑限定结构2506下方的非零光场），并且 (d) 阵列板之间的场为零场（例如，图19和20中的板）。

[0118] 在简单的代表性计算中，在x和y方向上高达2阶的静电势通常可以表示为：

$$\phi(x, y, z) = U + \phi_0(z) + p \phi_0''(z) x^2 + q \phi_0''(z) y^2 + \phi_2(z)(x^2 - y^2), \quad (1)$$

针对在x-z平面和y-z平面中镜像对称的静电势。在表达式(1)中，U表示光阑透镜阵列2500上方的电子能量，并且其它项由施加到电极2502和电极2504两者和/或光阑限定结构2506的电压引起。此静电势的拉普拉斯方程(Laplace equation) ($\Delta\phi = 0$) 指示 $p + q = -1/2$ 。在一些实例中，对于圆形光阑透镜，这对应于 $p = q = -1/4$ ，并且对于在x-z平面中聚焦的圆柱透镜（如图19中所描绘的实施例），这对应于 $p = -1/2$ 并且 $q = 0$ 。

[0119] 根据简单的代表性计算，光阑限定结构2506的上游组件会激发透镜强度：

$$\kappa_{x,up} = f_{x,up}^{-1} = U^{-1}(-p_{up}E_{up} - Q_{up}); \text{ 和 } \kappa_{y,up} = f_{y,up}^{-1} = U^{-1}(-q_{up}E_{up} + Q_{up}); \quad (2)$$

类似地,光阑限定结构2506的下游组件会激发透镜强度:

$$\kappa_{x,low} = f_{x,low}^{-1} = U^{-1}(p_{low}E_{low} - Q_{low}); \text{ 和 } \kappa_{y,low} = f_{y,low}^{-1} = U^{-1}(q_{low}E_{low} + Q_{low}); \quad (3)$$

在这些等式中, f_x 和 f_y 分别是 $x-z$ 平面和 $y-z$ 平面中的焦距, 并且 $U^{-1}Q_{up}$ 和 $U^{-1}Q_{low}$ 是由四极电势 $\phi_2(z)(x^2 - y^2)$ 引起的四极透镜强度。

[0120] 在一些优选的实施例中, $E_{up} = E_{low} \equiv E$ 。在此类实施例中, 总透镜强度简化为:

$$\kappa_x = \kappa_{x,up} + \kappa_{x,low} = U^{-1}((p_{low} - p_{up})E - Q); \quad (5) \text{ 以及}$$

$$\kappa_y = \kappa_{y,up} + \kappa_{y,low} = U^{-1}((q_{low} - q_{up})E + Q)。 \quad (6)$$

因为 $p_{up} + q_{up} = p_{low} + q_{low} = -1/2$, 所以在此类实施例中得出 $\kappa_y = -\kappa_x$, 这意味着仅存在纯四极透镜作用。

[0121] 在光阑透镜阵列2100的实施例中, 其中在物理结构1900和2000的两侧上的电磁场是相同的, 由行进通过第一光阑1904的第一电子束2108引起的透镜效应被抵消和/或以其它方式被由行进通过第一光阑2004的第一电子束2108引起的透镜效应消除。另外, 在此实施例中, 将由行进通过第二光阑1906的第二电子束2110引起的透镜效应和由行进通过第二光阑2006的第二电子束2110引起的透镜效应组合以形成至少一种四极透镜效应。

[0122] 图26是用于研究样品104的一个或多个双焦点多束电子系统100的示例实施例2600的展示, 其中双焦点束成形器112包括分束机构2604和一个或多个聚焦装置2606。

[0123] 一个或多个示例双焦点多束电子系统2602包含电子源106, 所述电子源沿着发射轴110并朝着双焦点束成形器112发射多个电子108。在本发明的所展示的实施例中, 双焦点束成形器112被示出为包括至少 (i) 分束机构2604, 所述分束机构将所述多个电子108分离成第一电子束114和第二电子束116, 以及 (ii) 一个或多个聚焦装置2606, 所述一个或多个聚焦装置被配置成修改电子束中的一个或两个的聚焦特性, 使得两个束不具有相同的对应焦平面。在一些实施例中, 一个或多个聚焦装置2606进一步被配置成使第一电子束114和第二电子束116中的一个或两个偏转离开发射轴110。

[0124] 在图26中, 分束机构2604被示为对应于限定第一光阑和第二光阑的物理结构, 第一光阑允许第一电子束114穿过分束机构2604, 并且第二光阑允许第二电子束116穿过分束机构2604。图26进一步展示了任选地对应于两个透镜的一个或多个聚焦装置2606。然而, 在其它实施例中, 聚焦装置2606可以对应于三个或更多个透镜、仅修改电子束中的一个的单个透镜、具有高像差的单个透镜, 使得两个电子束穿过透镜。另外, 尽管图26展示了位于一个或多个聚焦装置2606的上游的分束机构2604, 在示例双焦点多束电子系统2602的其它实施例中, 分束机构2604可以位于一个或多个聚焦装置2606的下游。可替代地, 在一些实施例中, 聚焦装置2606中的一些可以位于分束机构2604的上游, 而聚焦装置2606中的其它可以位于分束机构2604的下游。

[0125] 图26展示了定位于聚焦组件120的上游的双焦点束成形器112,所述聚焦组件被配置成施加使第一电子束114和第二电子束116中的至少一个聚焦的透镜作用。在图26示出的一个或多个示例双焦点多束电子系统2602中,聚焦组件对应于使第一电子束114和第二电子束116加速/减速、聚焦和/或朝着聚焦柱126引导的加速器122。

[0126] 聚焦柱126和物镜128使电子束114和116聚焦,使得所述电子束入射到样品104上。具体地,图26展示了聚焦柱126,所述聚焦柱使第二电子束116聚焦以使其聚焦在样品104上,并且使第一电子束114聚焦以使其聚焦在样品104上。在一些实施例中,修改第一电子束114和第二电子束116的所述焦平面,使得所述束中的一个聚焦在样品104处或附近的平面处,并且另一个电子束聚焦在定位于物镜焦距高于或低于样品104至少0.1%、1%、10%或100%的平面处。可替代地或另外,可以修改第一电子束114和第二电子束116的焦平面,使得样品104处的电子束中的一个的直径比样品处的另一个电子束的直径大50倍、100倍、500倍或1000倍中的至少一个。

[0127] 在以下列举的段落中描述了根据本公开的发明主题的实例。

[0128] A1.一种用于研究样品的方法,所述方法包括朝着所述样品发射多个带电粒子;将所述多个带电粒子形成第一带电粒子束和第二带电粒子束;修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个的聚焦特性。

[0129] A1.1.根据段落A1所述的方法,其中修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个的聚焦特性包括修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的一个或多个,使得:所述第一带电粒子束具有第一焦平面;并且所述第二带电粒子束具有与所述第一焦平面不同的第二焦平面。

[0130] A1.1.1.根据段落A1.1所述的方法,其中修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个的聚焦特性包括修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的一个或多个,使得:所述第一带电粒子束在所述样品处或附近的平面处具有焦平面;并且所述第二带电粒子束在所述样品处或附近的所述平面处不具有焦平面。

[0131] A1.1.2.根据段落A1.1所述的方法,其中修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个的聚焦特性包括修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的一个或多个,使得:所述第二带电粒子束在所述样品处或附近的平面处具有焦平面;并且所述第一带电粒子束在所述样品处或附近的所述平面处不具有焦平面。

[0132] A1.2.根据段落A1-A1.1.2中任一项所述的方法,其中修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个的聚焦特性包括向所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的一个施加圆形透镜作用。

[0133] A1.2.1.根据段落A1.2所述的方法,其中修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个的聚焦特性包括向所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的两个施加所述圆形透镜作用。

[0134] A1.2.1.1.根据段落A1.2.1所述的方法,其中施加到所述第一带电粒子束的所述圆形透镜作用不同于施加到所述第二带电粒子束的所述圆形透镜作用。

[0135] A1.3.根据段落A1-A1.2.1.1中任一项所述的方法,其中修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个的聚焦特性包括向所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的一个施加至少一种四极透镜作用。

[0136] A1.4.根据段落A1-A1.3中任一项所述的方法,其中所述第一带电粒子束是沿着所述多个带电粒子的发射轴行进的轴向束,并且所述第二带电粒子束是非轴向束。

[0137] A1.5.根据段落A1-A1.4中任一项所述的方法,其中所述第二带电粒子束是沿着所述多个带电粒子的发射轴行进的轴向束,并且所述第一带电粒子束是非轴向束。

[0138] A2.根据段落A1-A1.5中任一项所述的方法,其中所述带电粒子是电子,并且所述带电粒子束是电子束。

[0139] A3.根据段落A1-A2中任一项所述的方法,其中所述样品处的所述第二带电粒子束的第二束直径比所述样品处的所述第一带电粒子束的第一束直径大5倍、10倍、20倍、50倍、100倍、500倍或1000倍中的至少一个。

[0140] A3.1.根据段落A3所述的方法,其中所述第二束直径比所述第一带电粒子束的每个交叉点处或附近的所述第一束直径大5倍、10倍、20倍、50倍、100倍、500倍或1000倍中的至少一个。

[0141] A4.根据段落A1-A3.1中任一项所述的方法,其中在所述样品处,所述第一带电粒子束相对于所述第二带电粒子束倾斜。

[0142] A5.根据段落A1-A4中任一项所述的方法,其中所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束是相干束。

[0143] A6.根据段落A1-A5中任一项所述的方法,其进一步包括利用加速器将所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的每一个加速到最终能量。

[0144] A7.根据段落A1-A5中任一项所述的方法,其进一步包括利用加速器将所述多个带电粒子加速到最终能量。

[0145] A8.根据段落A1-A7中任一项所述的方法,其中所述形成所述多个带电粒子和所述修改所述聚焦特性中的每一个由双焦点束成形器执行。

[0146] A8.1.根据从属于A6时的段落A8所述的方法,其中所述双焦点束成形器定位于加速器上方。

[0147] A8.2.根据从属于A7时的段落A8所述的方法,其中所述双焦点束成形器定位于加速器下方。

[0148] A8.3.根据段落A8-A8.2中任一项所述的方法,其中所述双焦点束成形器使所述第二带电粒子束畸变。

[0149] A8.4.根据段落A8-A8.3中任一项所述的方法,其中所述双焦点束成形器改变所述第二带电粒子束的所述焦平面。

[0150] A8.5.根据段落A8-A8.4中任一项所述的方法,其中所述双焦点束成形器使所述第二带电粒子束不是圆柱对称束。

[0151] A8.5.1.根据段落A8.5所述的方法,其进一步包括使所述第二带电粒子束成为具有消像散器的圆柱对称束。

[0152] A8.6.根据A8-A8.5.1中任一项所述的方法,其中所述双焦点束成形器使所述第二带电粒子束具有一个或多个像差。

[0153] A8.6.1.根据段落A8.6所述的方法,其中所述一个或多个像差中的至少一个是确定性像差。

[0154] A8.6.2.根据段落A8.6-8.6.1中任一项所述的方法,其中所述双焦点束成形器被

定位和/或配置成使所述一个或多个像差中的至少一个来校正所述系统中的另一个像差。

[0155] A8.7. 根据段落A8-A8.6.2中任一项所述的方法,其中所述双焦点束成形器进一步被配置成使所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个偏转远离所述多个带电粒子的发射轴。

[0156] A9. 根据段落A8-A8.7中任一项所述的方法,其中所述双焦点束成形器包括MEMS装置,所述MEMS装置被配置成产生至少一种四极透镜效应,所述四极透镜效应至少部分地引起所述修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个的所述聚焦特性。

[0157] A9.1. 根据段落A9所述的方法,其中所述MEMS装置包括限定第一光阑和第二光阑的结构,并且其中所述第一带电粒子束穿过所述第一光阑并且所述第二带电粒子束穿过所述第二光阑。

[0158] A9.1.1. 根据段落A9.1所述的方法,其中所述第一光阑具有与所述第二光阑相同的半径。

[0159] A9.1.2. 根据段落A9.1所述的方法,其中所述第一光阑具有比所述第二光阑小的半径。

[0160] A9.1.3. 根据段落A9.1所述的方法,其中所述第一光阑具有比所述第二光阑大的半径。

[0161] A9.1.4. 根据段落A9.1-A9.1.3中任一项所述的方法,其中所述MEMS装置包括面对所述多个带电粒子的表面层,并且其中所述第一光阑和所述第二光阑由所述表面层限定。

[0162] A9.1.4.1. 根据段落A9.1.4所述的方法,其中所述表面层是箔。

[0163] A9.1.5. 根据段落A9.1-A9.1.4.1中任一项所述的方法,其中所述第一光阑是定位于所述多个带电粒子的发射轴上的轴向光阑,并且所述第二光阑是非轴向光阑。

[0164] A9.1.6. 根据段落A9.1-A9.1.4.1中任一项所述的方法,其中所述第二光阑是定位于所述多个带电粒子的发射轴上的轴向光阑,并且所述第一光阑是非轴向光阑。

[0165] A9.2. 根据段落A9-A9.1.5中任一项所述的方法,其中所述MEMS装置包括一个或多个电极。

[0166] A9.2.1. 根据段落A9.2所述的方法,其中当将对应的电压施加到所述一个或多个电极时,所述一个或多个电极产生至少部分地至少施加所述四极透镜效应的电磁场。

[0167] A9.2.1. 根据段落A9.2-A9.2.1中任一项所述的方法,其中所述一个或多个电极中的至少一个接地。

[0168] A9.2.2. 根据从属于A9.1.4时的段落A9.2-A9.2.1中的任一项所述的方法,其中所述MEMS装置包括与所述表面层相反的绝缘层。

[0169] A9.2.2.1. 根据段落A9.2.2所述的方法,其中所述一个或多个电极位于定位于所述绝缘层与所述表面层之间的电极层中。

[0170] A9.2.3. 根据段落A9.2-A9.2.2.1中任一项所述的方法,其中所述一个或多个电极包括四个电极。

[0171] A9.2.4. 根据段落A9.2-A9.2.2.1中任一项所述的方法,其中所述一个或多个电极包括七个电极。

[0172] A9.3. 根据段落A9-A9.2.4中任一项所述的方法,其中所述至少四极透镜效应是偶极透镜效应、四极透镜效应、六极透镜效应和八极透镜效应中的一个。

[0173] A9.4.根据段落A9-A9.3中任一项所述的方法,其中至少四极场不会使所述第一带电粒子束的所述焦平面发生变化。

[0174] A9.5.根据段落A9-A9.4中任一项所述的方法,其中所述MEMS装置进一步被配置成产生一个或多个偶极场。

[0175] A9.5.1.根据段落A9.5所述的方法,其中所述一个或多个偶极场使所述带电粒子束中的至少一个在垂直于所述发射轴的方向上偏转。

[0176] A9.6.根据段落A9-A9.5.1中任一项所述的方法,其中所述四极透镜效应:向所述第一带电粒子束的第一子午平面中的所述第一带电粒子束施加正透镜效应;并且向所述第一带电粒子束的第二子午平面中的所述第一带电粒子束施加负透镜效应,其中所述第一子午平面垂直于所述第二子午平面。

[0177] A9.6.1.根据段落A9.6所述的方法,其中由所述四极场引起的所述第一带电粒子束的所述焦平面在所述第一子午平面中的第一变化不同于由所述四极场引起的所述第一带电粒子束的所述焦平面在所述第二子午平面中的第二变化。

[0178] A9.7.根据段落A9-A9.5.1中任一项所述的方法,其中所述四极透镜效应:向所述第二带电粒子束的第一子午平面中的所述第二带电粒子束施加正透镜效应;并且向所述第二带电粒子束的第二子午平面中的所述第二带电粒子束施加负透镜效应,其中所述第一子午平面垂直于所述第二子午平面。

[0179] A9.7.1.根据段落A9.7所述的方法,其中由所述四极场引起的所述第二带电粒子束的所述焦平面在所述第一子午平面中的第一变化不同于由所述四极场引起的所述第二带电粒子束的所述焦平面在所述第二子午平面中的第二变化。

[0180] A10.根据段落A8-A8.6.2中任一项所述的方法,其中所述双焦点束成形器包括:物理结构,所述物理结构限定第一光阑和第二光阑,其中所述第一带电粒子束穿过所述第一光阑并且所述第二带电粒子束穿过所述第二光阑;以及透镜,所述透镜被定位和/或配置成调节所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个的所述聚焦特性,使得所述带电粒子束具有不同的对应焦平面。

[0181] A10.1.根据段落A10所述的方法,其中所述第一带电粒子束穿过所述第一光阑并且所述第二带电粒子束穿过所述第二光阑。

[0182] A10.2.根据段落A10-A10.1中任一项所述的方法,其中所述透镜是单透镜。

[0183] A10.3.根据段落A10-A10.2中任一项所述的方法,其中所述透镜定位在所述物理结构上方。

[0184] A10.4.根据段落A10-A10.2中任一项所述的方法,其中所述透镜定位在所述物理结构下方上方。

[0185] A10.5.根据段落A10-A10.4中任一项所述的方法,其中所述透镜被定位和/或配置成调节所述第二带电粒子束的所述聚焦特性。

[0186] A10.5.1.根据段落A10.5所述的方法,其中所述透镜未被定位和/或配置成调节所述第一带电粒子束的所述焦平面。

[0187] A11.根据段落A6-A6.5中任一项所述的方法,其中所述双焦点束成形器包括限定以下的至少一个物理结构:允许所述第一带电粒子束穿过所述至少一个物理结构的第一光阑;允许所述第二带电粒子束穿过所述至少一个物理结构的第二光阑;以及多个其它光阑。

[0188] A11.1.根据段落A11所述的方法,其中所述第一光阑、所述第二光阑和所述多个其它光阑形成模式,所述模式在使用所述双焦点束成形器期间产生向所述第二带电粒子束施加透镜效应的电磁场。

[0189] A11.1.1.根据段落A11.1所述的方法,其中所述第一光阑、所述第二光阑和所述多个其它光阑形成模式,所述模式在使用所述双焦点束成形器期间产生向所述第二带电粒子束施加至少一种四极透镜效应的电磁场。

[0190] A11.1.1.1.根据段落A11.1.1所述的方法,其中在使用所述双焦点束成形器期间,所述电磁场不会向所述第一带电粒子束施加所述四极透镜效应。

[0191] A11.1.2.根据段落A11.1-A11.1.1.1中任一项所述的方法,其中所述第一光阑、所述第二光阑和所述多个其它光阑形成模式,所述模式在使用所述双焦点束成形器期间产生向所述第一带电粒子束施加圆形透镜效应的电磁场。

[0192] A11.1.2.1.根据段落A11.1.2所述的方法,其中所述多个其它光阑形成模式,所述模式在使用所述双焦点束成形器期间产生向所述第二带电粒子束施加至少一种圆形透镜效应的电磁场。

[0193] A11.1.3.根据段落A11.1-A11.2.1中任一项所述的方法,其中由所述电磁场施加的所述透镜效应至少部分地引起所述修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个的所述聚焦特性。

[0194] A11.1.3.1.根据段落A11.1.3所述的方法,其中所述电磁场的确改变了所述第一带电粒子束的所述焦平面。

[0195] A11.3.根据段落A11-A11.2.1中任一项所述的方法,其中所述多个光阑中的至少一个光阑是孔。

[0196] A11.3.1.根据段落A11.3所述的方法,其中所述孔包括:

入口,所述入口限定在所述至少一个物理结构的第一表面中,所述第一表面面对所述多个带电粒子;出口,所述出口限定在与所述第一表面相反的所述至少一个物理结构的第二表面中;以及空体积,所述空体积连接所述入口和所述出口。

[0197] A11.3.1.1.根据段落A11.3.1所述的方法,其中所述第一表面和所述第二表面各自是单个物理结构的表面。

[0198] A11.3.1.2.根据段落A11.3.1所述的方法,其中所述第一表面和所述第二表面各自是不同物理结构的表面。

[0199] A11.4.根据段落A11-A11.3.1.2中任一项所述的方法,其中所述多个光阑中的至少一个光阑是腔。

[0200] A11.4.1.根据段落A11.4所述的方法,其中所述腔包括:入口,所述入口限定在所述至少一个物理结构的第一表面中,所述第一表面面对所述多个带电粒子;以及空体积,所述空体积与所述入口连通并且由所述至少一个物理结构限定,其中所述至少一个物理结构限定所述空体积,使得通过所述入口进入所述空体积的所述多个带电粒子中的带电粒子不穿过所述双焦点束成形器。

[0201] A11.4.1.1.根据段落A11.4.1所述的方法,其中所述腔由单个物理结构限定。

[0202] A11.4.1.2.根据段落A11.4.1所述的方法,其中所述腔由多个物理结构限定。

[0203] A11.5.根据段落A11.3-A11.4.1.2中任一项所述的方法,其中所述多个光阑包括

孔和腔的组合。

[0204] A11.6.根据段落A11-A11.5中任一项所述的方法,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑中的光阑中的至少一个的几何形状是圆形的。

[0205] A11.7.根据段落A11-A11.5中任一项所述的方法,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑中的光阑中的至少一个的几何形状是矩形的。

[0206] A11.7.1.根据段落A11-A11.5中任一项所述的方法,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑中的光阑中的至少一个的几何形状是正方形的。

[0207] A11.7.2.根据段落A11-A11.5中任一项所述的方法,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑中的光阑中的至少一个的几何形状具有圆角。

[0208] A11.8.根据段落A11-A11.7.2中任一项所述的方法,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑的几何形状不均匀。

[0209] A11.9.根据段落A11-A11.8中任一项所述的方法,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑的大小不均匀。

[0210] A11.10.根据段落A11-A11.9中任一项所述的方法,其中所述双焦点束成形器进一步包括配置成接收第一施加电压的第一电极。

[0211] A11.10.1.根据段落A11.10所述的方法,其中所述第一电极包括至少部分地限定电极入口光阑的物理结构,所述电极入口光阑允许所述多个带电粒子的至少一部分穿过所述第一电极。

[0212] A11.10.1.1.根据段落A11.10.1所述的方法,其中所述电极入口光阑是第一电极入口光阑,所述第一电极入口光阑允许所述多个带电粒子的第一部分穿过所述第一电极,并且所述第二电极进一步限定第二电极入口光阑,所述第二电极入口光阑允许所述多个带电粒子的第二部分穿过所述第一电极。

[0213] A11.10.2.根据段落A11.10-A11.10.1.1中任一项所述的方法,其中所述第一电极在所述第一光阑、所述第二光阑和所述多个光阑的上游。

[0214] A11.10.3.根据段落A11.10-A11.10.2中任一项所述的方法,其中所述第一电极是盘状电极。

[0215] A11.10.4.根据段落A11.10-A11.10.2中任一项所述的方法,其中所述双焦点束成形器进一步包括配置成接收第二施加电压的第二电极。

[0216] A11.10.4.1.根据段落A11.10.4所述的方法,其中第一电压不同于第二电压。

[0217] A11.10.4.2.根据段落A11.10.4所述的方法,其中第一电压和第二电压不同。

[0218] A11.10.4.3.根据段落A11.10.4-A11.10.4.2中任一项所述的方法,其中所述第二电极包括至少部分地限定电极出口光阑的物理结构,所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个穿过所述第二电极。

[0219] A11.10.4.3.1.根据段落A11.10.4.3所述的方法,其中所述电极出口光阑是第一电极出口光阑,所述第一电极出口光阑允许所述第一带电粒子束穿过所述第二电极,并且所述第二电极进一步包括允许所述第二带电粒子束穿过所述第二电极的第二电极出口光阑。

[0220] A11.10.4.3.根据段落A11.10.4-A11.10.4.3.1中任一项所述的方法,其中所述第二电极定位在所述第一光阑、所述第二光阑和所述多个光阑的下游。

[0221] A12.根据段落A8-A8.6.2中任一项所述的方法,其中所述双焦点束成形器包括双棱镜,所述双棱镜限定孔,并且其被定位和/或配置成将所述多个带电粒子分离成所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束。

[0222] A13.根据段落A8-A8.6.2中任一项所述的方法,其中激光模式条纹用于将所述多个带电粒子分离成所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束。

[0223] A14.根据段落A1-A13中任一项所述的方法,其中所述第二带电粒子束聚焦在定位于所述样品上方的不同平面处。

[0224] A13.1.根据段落A13所述的方法,其中所述不同平面定位于所述样品上方物镜焦距的至少0.1%、1%、10%或100%。

[0225] A14.根据段落A1-A13中任一项所述的方法,其中所述第二带电粒子束聚焦在定位于所述样品下方的不同平面处。

[0226] A14.1.根据段落A14所述的方法,其中所述不同平面定位于所述样品下方物镜焦距的至少至少0.1%、1%、10%或100%。

[0227] A15.根据段落A13-A14.1中任一项所述的方法,其中所述样品处或附近的平面与所述不同平面之间的距离至少为所述物镜焦距的0.1%、1%、10%或100%。

[0228] A16.根据段落A1-A15中任一项所述的方法,其中所述第二带电粒子束是所述样品处的平行束。

[0229] B1.一种用于使用电子全息术研究样品的方法,所述方法包括朝着所述样品发射多个电子;将所述多个电子形成为第一电子束和第二电子束;修改所述第一电子束和所述第二电子束中的至少一个的聚焦特性,使得所述两个电子束具有不同的焦平面;聚焦所述第一电子束使得所述第一电子束在所述样品处或附近具有焦平面;聚焦所述第二电子束使得所述第二电子束入射到所述样品上,并且在衍射平面中具有焦平面;以及在所述衍射平面中检测所述第一电子束和衍射的第二电子束的干涉模式。

[0230] B1.1.根据段落B1所述的方法,其进一步包括基于所述衍射平面所述第一电子束和所述衍射的第二电子束的所述干涉模式来产生所述样品的全息图像。

[0231] B1.2.根据段落B1-B1.1中任一项所述的方法,其进一步包括基于所述衍射平面所述第一电子束和所述衍射的第二电子束的所述干涉模式来确定由所述样品衍射的电子的相位。

[0232] B1.3.根据段落B1-B1.2中任一项所述的方法,其进一步包括响应于入射到所述样品上的所述第二电子束,确定离开所述样品的电子的出射面波函数。

[0233] B1.3.1.根据段落B1.3所述的方法,其中确定所述出射面波函数包括响应于入射到所述样品上的所述第二电子束,确定离开所述样品的所述电子的所述出射面波函数的所述相位和幅度。

[0234] B1.3.2.根据段落B1.3-B1.3.1中任一项所述的方法,其进一步包括基于所述出射面波函数确定所述样品的结构。

[0235] B1.3.2.1.根据段落B1.3.2所述的方法,其中所述样品是晶体,并且确定所述样品的所述结构包括基于所述出射面波函数确定所述样品的晶格。

[0236] B2.根据段落B1-B1.3.2.1中任一项所述的方法,其中所述第一电子束和所述第二电子束中的一个沿着多个带电粒子的发射轴行进的轴向束。

- [0237] B3.根据段落B1-B2中任一项所述的方法,其中所述衍射平面对应于所述样品处下游的所述第二电子束的第一焦平面。
- [0238] B4.根据段落B1-B3中任一项所述的方法,其中所述第一电子束和所述第二电子束相干。
- [0239] B4.根据段落B1-B3中任一项所述的方法,其中第一电子平面穿过所述样品中的光阑。
- [0240] B4.1.根据段落B4所述的方法,其中所述方法进一步包括用电子束和离子束中的一个燃烧所述样品中的所述光阑。
- [0241] B5.根据段落B1-B3中任一项所述的方法,其中所述第一电子束穿过所述样品的薄区域,使得没有足够的散射来干扰所述第一电子束。
- [0242] B6.根据段落B1-B5中任一项所述的方法,其中所述第二电子束是所述样品处的平行束。
- [0243] B7.根据段落B1-B6中任一项所述的方法,其中所述第二电子束的第二直径比所述第一电子束的第一直径大5倍、10倍、20倍、50倍和100倍。
- [0244] B8.根据段落B1-B7中任一项所述的方法,其中所述第一带电粒子束是沿着所述多个带电粒子的发射轴行进的轴向束,并且所述第二带电粒子束是非轴向束。
- [0245] B9.根据段落B1-B7中任一项所述的方法,其中所述第二带电粒子束是沿着所述多个带电粒子的发射轴行进的轴向束,并且所述第一带电粒子束是非轴向束。
- [0246] B10.根据段落B1-B9中任一项所述的方法,其中修改所述第一电子束和所述第二电子束中的至少一个的聚焦特性包括向所述第一电子束和所述第二电子束中的一个施加圆形透镜作用。
- [0247] B10.1.根据段落B10所述的方法,其中修改所述第一电子束和所述第二电子束中的至少一个的聚焦特性包括向所述第一电子束和所述电子粒子束中的两个施加圆形透镜作用。
- [0248] B10.1.1.根据段落B10.1所述的方法,其中施加到所述第一电子束的所述圆形透镜作用不同于施加到所述第二电子束的所述圆形透镜作用。
- [0249] B11.根据段落B1-B10.1.1中任一项所述的方法,其中修改所述第一电子束和所述第二电子束中的至少一个的聚焦特性包括向所述第一电子束和所述第二电子束中的一个施加至少一种四极透镜作用。
- [0250] B11.1.根据段落B11所述的方法,其中所述至少一种四极透镜作用向所述第一电子束和所述第二电子束中的一个施加像散,使得其不再是圆柱对称束。
- [0251] B11.2.根据段落B11-B11.1中任一项所述的方法,其中所述方法进一步包括向所述第一电子束和所述第二电子束中的一个施加另外的至少一种四极透镜效应。
- [0252] B11.2.1.根据段落B11.2所述的方法,其中所述另外的至少一种四极透镜效应使所述第一电子束和所述第二电子束中的所述一个成为圆柱对称束。
- [0253] B11.2.2.根据段落B11.2-B11.2.1中任一项所述的方法,其中所述至少一种四极透镜效应由校正器施加。
- [0254] B11.2.2.1.根据段落B11.2.2所述的方法,其中所述校正器进一步施加垂直于所述多个电子的发射轴的偏转。

- [0255] B11.2.2.1.1.根据段落B11.2.2.1所述的方法,其中所述第二电子束是轴向束,并且所述偏转使所述第二电子束成为所述校正器下游的非轴向束。
- [0256] B11.2.2.1.2.根据段落B11.2.2.1所述的方法,其中所述第二电子束是非轴向束,并且所述偏转使所述第二电子束成为所述校正器下游的轴向束。
- [0257] B11.2.2.1.3.根据段落B11.2.2.1所述的方法,其中所述第一电子束是轴向束,并且所述偏转使所述第一电子束成为所述校正器下游的非轴向束。
- [0258] B11.2.2.1.4.根据段落B11.2.2.1所述的方法,其中所述第一电子束是非轴向束,并且所述偏转使所述第一电子束成为所述校正器下游的轴向束。
- [0259] B11.2.2.2.根据段落B11.2.2.1-B11.2.2.1.4中任一项所述的方法,其中所述校正器定位于未接收所述至少四极透镜效应的电子束的焦平面处。
- [0260] B12.根据段落B1-B11.2.2.2中任一项所述的方法,其中所述多个电子被分离,并且所述第一电子束和所述第二电子束被MEMS装置修改。
- [0261] B12.1.根据段落B12所述的方法,其中所述MEMS装置包括根据段落F1-F12.1中的任一项所述的MEMS装置。
- [0262] B13.根据段落B1-B12中任一项所述的方法,其中所述多个电子被分离,并且所述第一电子束和所述第二电子束被多光阑装置修改。
- [0263] B13.1.根据段落B13所述的方法,其中所述MEMS装置包括根据段落F1-F12.1中的任一项所述的MEMS装置。
- [0264] B14.根据段落B1-B13中任一项所述的方法,其中所述样品是晶体。
- [0265] B14.1.根据段落B14所述的方法,其中衍射图像中的衍射峰是艾里斑(Airy disk)。
- [0266] B15.根据段落B1-B14.1中任一项所述的方法,其中所述样品散射的电子在衍射平面中具有焦平面。
- [0267] C1.一种用于研究样品的系统,所述系统包括:样品保持器,所述样品保持器被配置成保持样品;带电粒子发射器,所述带电粒子发射器被配置成朝着所述样品发射带电粒子;双焦点束成形器,所述双焦点束成形器定位于所述带电粒子发射器与所述样品保持器之间,其中所述双焦点束成形器被配置成:将所述多个带电粒子形成为第一带电粒子束和第二带电粒子束;并且修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个的聚焦特性,使得所述第一带电粒子束聚焦在所述样品处或附近的平面处并且所述第二带电粒子束未聚焦在所述样品处或附近的所述平面处。
- [0268] C2.根据段落C1所述的系统,其中所述带电粒子发射器是被配置成朝着所述样品发射电子的电子发射器,并且所述带电粒子束是电子束。
- [0269] C3.根据段落C1-C2中任一项所述的系统,其中所述样品处的所述第二带电粒子束的第二束直径比所述样品处的所述第一带电粒子束的第一束直径大5倍、10倍、20倍、50倍、100倍、500倍或1000倍中的至少一个。
- [0270] C3.1.根据段落C3所述的系统,其中所述第二束直径比所述第一带电粒子束的每个交叉点处或附近的所述第一束直径大5倍、10倍、20倍、50倍、100倍、500倍或1000倍中的至少一个。
- [0271] C4.根据段落C1-C3.1中任一项所述的系统,其中在所述样品处,所述第一带电粒

子束相对于所述第二带电粒子束倾斜。

[0272] C5. 根据段落C1-C4中任一项所述的系统, 其中所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束是相干束。

[0273] C6. 根据段落C1-C5中任一项所述的系统, 其进一步包括加速器。

[0274] C6.1. 根据段落C6所述的系统, 其中所述加速器定位于所述双焦点束成形器下方, 并且被配置成将所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的每一个加速到最终能量。

[0275] C6.2. 根据段落C6所述的系统, 其中所述加速器定位于所述双焦点束成形器上方, 并且被配置成将所述多个带电粒子加速到最终能量。

[0276] C7. 根据段落C1-C6.2中任一项所述的系统, 其中所述双焦点束成形器使所述第二带电粒子束畸变。

[0277] C8. 根据段落C1-C7中任一项所述的系统, 其中所述双焦点束成形器改变所述第二带电粒子束的所述焦平面。

[0278] C9. 根据段落C8-C8.4中任一项所述的系统, 其中所述双焦点束成形器使所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的一个不是圆柱对称束。

[0279] C9.1. 根据段落C9所述的系统, 其进一步包括校正器, 所述校正器被配置成使所述第二带电粒子束成为圆柱对称束。

[0280] C9.1.1. 根据段落C9.1.所述的系统, 其中所述校正器是消像散器。

[0281] C10. 根据C1-C9.1.1中任一项所述的系统, 其中所述双焦点束成形器使所述第二带电粒子束具有一个或多个像差。

[0282] C10.1. 根据段落C10所述的系统, 其中所述一个或多个像差中的至少一个是确定性像差。

[0283] C10.2. 根据段落C10-C10.1中任一项所述的系统, 其中所述双焦点束成形器被定位和/或配置成使所述一个或多个像差中的至少一个来校正所述系统中的另一个像差。

[0284] C11. 根据段落C1-C10.2中任一项所述的系统, 其中所述双焦点束成形器进一步被配置成使所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个偏转远离所述多个带电粒子的发射轴。

[0285] C12. 根据段落C1-C11中任一项所述的系统, 其中所述双焦点束成形器包括MEMS装置, 所述MEMS装置被配置成产生至少一个四极场, 所述四极场至少部分地引起所述修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个的所述聚焦特性。

[0286] C12.1. 根据段落C12所述的系统, 其中所述MEMS装置包括限定第一光阑和第二光阑的结构, 并且其中所述第一带电粒子束穿过所述第一光阑并且所述第二带电粒子束穿过所述第二光阑。

[0287] C12.1.1. 根据段落C12.1所述的系统, 其中所述第一光阑具有与所述第二光阑相同的半径。

[0288] C12.1.2. 根据段落C12.1所述的系统, 其中所述第一光阑具有比所述第二光阑小的半径。

[0289] C12.1.3. 根据段落C12.1所述的系统, 其中所述第一光阑具有比所述第二光阑大的半径。

[0290] C12.1.4. 根据段落C12.1-C12.1.3中任一项所述的系统, 其中所述MEMS装置包括

面对所述多个带电粒子的表面层,并且其中所述第一光阑和所述第二光阑由所述表面层限定。

[0291] C12.1.4.1.根据段落C12.1.4所述的系统,其中所述表面层是箔。

[0292] C12.1.5.根据段落C12.1-C12.1.4.1中任一项所述的系统,其中所述第一光阑是定位于所述多个带电粒子的发射轴上的轴向光阑,并且所述第二光阑是非轴向光阑。

[0293] C12.1.6.根据段落C12.1-C12.1.4.1中任一项所述的系统,其中所述第二光阑是定位于所述多个带电粒子的发射轴上的轴向光阑,并且所述第一光阑是非轴向光阑。

[0294] C12.2.根据段落C12.1-C12.1.6中任一项所述的系统,其中所述MEMS装置包括一个或多个电极。

[0295] C12.2.1.根据段落C12.2所述的系统,其中当将对应的电压施加到所述一个或多个电极时,所述一个或多个电极至少产生所述四极场。

[0296] C12.2.1.根据段落C12.2-12.2.1中任一项所述的系统,其中所述一个或多个电极中的至少一个接地。

[0297] C12.2.2.根据从属于C12.1.4时的段落C12.2-C12.2.1中的任一项所述的系统,其中所述MEMS装置包括与所述表面层相反的绝缘层。

[0298] C12.2.2.1.根据段落C12.2.2所述的系统,其中所述一个或多个电极位于定位于所述绝缘层与所述表面层之间的电极层中。

[0299] C12.2.3.根据段落C12.2-C12.2.2.1中任一项所述的系统,其中所述一个或多个电极包括四个电极。

[0300] C12.2.4.根据段落C12.2-C12.2.2.1中任一项所述的系统,其中所述一个或多个电极包括七个电极。

[0301] C12.3.根据段落C12.1-C12.2.4中任一项所述的系统,其中所述至少四极场是偶极场、四极场、六极场或八极场中的一个。

[0302] C12.4.根据段落C12.1-C12.3中任一项所述的系统,其中至少四极场不会使所述第一带电粒子束的所述焦平面发生变化。

[0303] C12.5.根据段落C12.1-C12.4中任一项所述的系统,其中所述MEMS装置进一步被配置成产生一个或多个偶极场。

[0304] C12.5.1.根据段落C12.5所述的系统,其中所述一个或多个偶极场使所述带电粒子束中的至少一个在垂直于所述发射轴的方向上偏转。

[0305] C13.根据段落C1-C11中任一项所述的系统,其中所述双焦点束成形器包括:物理结构,所述物理结构限定第一光阑和第二光阑,其中所述第一带电粒子束穿过所述第一光阑并且所述第二带电粒子束穿过所述第二光阑;以及透镜,所述透镜被定位和/或配置成调节所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个的所述聚焦特性,使得所述带电粒子束具有不同的对应焦平面。

[0306] C13.1.根据段落C13所述的系统,其中所述第一带电粒子束穿过所述第一光阑并且所述第二带电粒子束穿过所述第二光阑。

[0307] C13.2.根据段落C13-C13.1中任一项所述的系统,其中所述透镜是单透镜。

[0308] C13.3.根据段落C13-C13.2中任一项所述的系统,其中所述透镜定位在所述物理结构上方。

[0309] C13.4.根据段落C13-C13.2中任一项所述的系统,其中所述透镜定位在所述物理结构下方。

[0310] C13.5.根据段落C13-C13.4中任一项所述的系统,其中所述透镜被定位和/或配置成调节所述第二带电粒子束的所述焦平面。

[0311] C13.5.1.根据段落C13.5所述的系统,其中所述透镜未被定位和/或配置成调节所述第一带电粒子束的所述焦平面。

[0312] C14.根据段落C14-C14.5中任一项所述的系统,其中所述双焦点束成形器包括限定以下的至少一个物理结构:允许所述第一带电粒子束穿过所述至少一个物理结构的第一光阑;允许所述第二带电粒子束穿过所述至少一个物理结构的第二光阑;以及多个其它光阑。

[0313] C14.1.根据段落C14所述的系统,其中所述多个其它光阑形成模式,所述模式在使用所述双焦点束成形器期间产生向所述第二带电粒子束施加透镜效应的电磁场。

[0314] C14.1.1.根据段落C14.1所述的系统,其中所述多个其它光阑形成模式,所述模式在使用所述双焦点束成形器期间产生向所述第二带电粒子束施加至少一种四极透镜效应的电磁场。

[0315] C14.1.1.1.根据段落C14.1.1所述的系统,其中在使用所述双焦点束成形器期间,所述电磁场不会向所述第一带电粒子束施加所述四极透镜效应。

[0316] C14.1.2.根据段落C14.1-C14.1.1.1中任一项所述的系统,其中所述多个其它光阑形成模式,所述模式在使用所述双焦点束成形器期间产生向所述第一带电粒子束施加圆形透镜效应的电磁场。

[0317] C14.1.2.1.根据段落C14.1.2所述的系统,其中所述多个其它光阑形成模式,所述模式在使用所述双焦点束成形器期间产生向所述第二带电粒子束施加至少一种圆形透镜效应的电磁场。

[0318] C14.1.3.根据段落C14.1-C14.2.1中任一项所述的系统,其中由所述电磁场施加的所述透镜效应至少部分地引起所述修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个的所述聚焦特性。

[0319] C14.1.3.1.根据段落C14.1.3所述的系统,其中所述电磁场的确改变了所述第一带电粒子束的所述焦平面。

[0320] C14.3.根据段落C14-C14.2.1中任一项所述的系统,其中所述多个光阑中的至少一个光阑是孔。

[0321] C14.3.1.根据段落C14.3所述的系统,其中所述孔包括:

入口,所述入口限定在所述至少一个物理结构的第一表面中,所述第一表面面对所述多个带电粒子;出口,所述出口限定在与所述第一表面相反的所述至少一个物理结构的第二表面中;以及空体积,所述空体积连接所述入口和所述出口。

[0322] C14.3.1.1.根据段落C14.3.1所述的系统,其中所述第一表面和所述第二表面各自是单个物理结构的表面。

[0323] C14.3.1.2.根据段落C14.3.1所述的系统,其中所述第一表面和所述第二表面各自是不同物理结构的表面。

[0324] C14.4.根据段落C14-C14.3.1.2中任一项所述的系统,其中所述多个光阑中的至

少一个光阑是腔。

[0325] C14.4.1.根据段落C14.4所述的系统,其中所述腔包括:

入口,所述入口限定在所述至少一个物理结构的第一表面中,所述第一表面面对所述多个带电粒子;以及空体积,所述空体积与所述入口连通并且由所述至少一个物理结构限定,其中所述至少一个物理结构限定所述空体积,使得通过所述入口进入所述空体积的所述多个带电粒子中的带电粒子不穿过所述双焦点束成形器。

[0326] C14.4.1.1.根据段落C14.4.1所述的系统,其中所述腔由单个物理结构限定。

[0327] C14.4.1.2.根据段落C14.4.1所述的系统,其中所述腔由多个物理结构限定。

[0328] C14.5.根据段落C14.3-C14.4.1.2中任一项所述的系统,其中所述多个光阑包括孔和腔的组合。

[0329] C14.6.根据段落C14-C14.5中任一项所述的系统,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑中的光阑中的至少一个的几何形状是圆形的。

[0330] C14.7.根据段落C14-C14.5中任一项所述的系统,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑中的光阑中的至少一个的几何形状是矩形的。

[0331] C14.7.1.根据段落C14-C14.5中任一项所述的系统,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑中的光阑中的至少一个的几何形状是正方形的。

[0332] C14.7.2.根据段落C14-C14.5中任一项所述的系统,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑中的光阑中的至少一个的几何形状具有圆角。

[0333] C14.8.根据段落C14-C14.7.2中任一项所述的系统,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑的几何形状不均匀。

[0334] C14.9.根据段落C14-C14.8中任一项所述的系统,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑的大小不均匀。

[0335] C14.10.根据段落C14-C14.9中任一项所述的系统,其中所述双焦点束成形器进一步包括配置成接收第一施加电压的第一电极。

[0336] C14.10.1.根据段落C14.10所述的系统,其中所述第一电极包括至少部分地限定电极入口光阑的物理结构,所述电极入口光阑允许所述多个带电粒子的至少一部分穿过所述第一电极。

[0337] C14.10.1.1.根据段落C14.10.1所述的系统,其中所述电极入口光阑是第一电极入口光阑,所述第一电极入口光阑允许所述多个带电粒子的第一部分穿过所述第一电极,并且所述第二电极进一步限定第二电极入口光阑,所述第二电极入口光阑允许所述多个带电粒子的第二部分穿过所述第一电极。

[0338] C14.10.2.根据段落C14.10-C14.10.1.1中任一项所述的系统,其中所述第一电极在所述第一光阑、所述第二光阑和所述多个光阑的上游。

[0339] C14.10.3.根据段落C14.10-C14.10.2中任一项所述的系统,其中所述第一电极是盘状电极。

[0340] C14.10.4.根据段落C14.10-C14.10.2中任一项所述的系统,其中所述双焦点束成形器进一步包括配置成接收第二施加电压的第二电极。

[0341] C14.10.4.1.根据段落C14.10.4所述的系统,其中第一电压不同于第二电压。

[0342] C14.10.4.2.根据段落C14.10.4所述的系统,其中第一电压和第二电压不同。

[0343] C14.10.4.3.根据段落C14.10.4-C14.10.4.2中任一项所述的系统,其中所述第二电极包括至少部分地限定电极出口光阑的物理结构,所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个穿过所述第二电极。

[0344] C14.10.4.3.1.根据段落C14.10.4.3所述的系统,其中所述电极出口光阑是第一电极出口光阑,所述第一电极出口光阑允许所述第一带电粒子束穿过所述第二电极,并且所述第二电极进一步包括允许所述第二带电粒子束穿过所述第二电极的第二电极出口光阑。

[0345] C14.10.4.3.根据段落C14.10.4-C14.10.4.3.1中任一项所述的系统,其中所述第二电极定位在所述第一光阑、所述第二光阑和所述多个光阑的下游。

[0346] C15.根据段落C1-C11中任一项所述的系统,其中所述双焦点束成形器包括双棱镜,所述双棱镜限定孔,并且其被定位和/或配置成将所述多个带电粒子分离成所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束。

[0347] C16.根据段落C1-C11中任一项所述的系统,其中激光模式条纹用于将所述多个带电粒子分离成所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束。

[0348] C17.根据段落C1-C16中任一项所述的系统,其中所述第二带电粒子束聚焦在定位于所述样品上方的不同平面处。

[0349] C17.1.根据段落C17所述的系统,其中所述不同平面定位于所述样品上方物镜焦距的至少至少0.1%、1%、10%或100%。

[0350] C18.根据段落C1-C16中任一项所述的系统,其中所述第二带电粒子束聚焦在定位于所述样品下方的不同平面处。

[0351] C18.1.根据段落C18所述的系统,其中所述不同平面定位于所述样本所述样品下方物镜焦距的至少0.1%、1%、10%或100%。

[0352] C19.根据段落C17-C18.1中任一项所述的系统,其中所述样品处或附近的平面与所述不同平面之间的距离至少为所述物镜焦距的0.1%、1%、10%或100%。

[0353] C20.根据段落C1-C19中任一项所述的系统,其中所述第二带电粒子束是所述样品处的平行束。

[0354] D1.使用根据段落C1-C20中任一项所述的系统执行根据段落A1-A16、B1-B15、L1-L10.2或M9.1所述的方法。

[0355] E1.一种非暂时性计算机可读介质,其包括指令,当所述指令由一个或多个处理单元执行时,使根据段落C1-C20中任一项所述的系统执行根据段落A1-A16、B1-B15、L1-L10.2或M1-M9.1所述的方法。

[0356] F1.一种MEMS装置,其包括:物理结构,所述物理结构限定:第一光阑,所述第一光阑被配置成允许多个带电粒子的第一部分带电粒子穿过所述MEMS装置;以及第二光阑,所述第二光阑被配置成允许所述多个带电粒子的第二部分带电粒子穿过所述MEMS装置;以及一个或多个电极,所述一个或多个电极被配置成当对应的电压施加到所述一个或多个电极时,产生至少一个四极场,所述四极场至少部分地引起修改所述第一部分带电粒子和所述第二部分带电粒子中的至少一个的焦平面。

[0357] F1.1.根据段落F1所述的MEMS装置,其中所述多个带电粒子形成入射到所述MEMS装置上的源束。

- [0358] F1.1.1.根据段落F1-F1.1中任一项所述的MEMS装置,其中所述多个带电粒子是多个电子。
- [0359] F2.根据段落F1-F1.1.1中任一项所述的MEMS装置,其中所述第一光阑被配置成将所述第一部分带电粒子形成第一带电粒子束,并且所述第二光阑被配置成将所述第二部分带电粒子形成第二带电粒子束。
- [0360] F2.1.根据段落F2所述的MEMS装置,其中所述第一光阑具有与所述第二光阑相同的半径。
- [0361] F2.2.根据段落F2所述的MEMS装置,其中所述第一光阑具有比所述第二光阑小的半径。
- [0362] F2.3.根据段落F2所述的MEMS装置,其中所述第一光阑具有比所述第二光阑大的半径。
- [0363] F3.根据段落F1-F2.3中任一项所述的MEMS装置,其中所述物理结构包括限定所述第一光阑和所述第二光阑的表面层。
- [0364] F3.1.根据段落F3所述的MEMS装置,其中所述表面层防止第三部分带电粒子穿过所述MEMS装置。
- [0365] F3.2.根据段落F3-F3.1中任一项所述的MEMS装置,其中所述表面层是箔。
- [0366] F4.根据段落F1-F3.2中任一项所述的MEMS装置,其中所述第一光阑是定位于所述多个带电粒子的发射轴上的轴向光阑,并且所述第二光阑是非轴向光阑。
- [0367] F5.根据段落F1-F3.2中任一项所述的MEMS装置,其中所述第二光阑是定位于所述多个带电粒子的发射轴上的轴向光阑,并且所述第一光阑是非轴向光阑。
- [0368] F6.根据段落F1-F5中任一项所述的MEMS装置,其中所述一个或多个电极中的至少一个接地。
- [0369] F7.根据从属于段落F3-F3.1中任一项时的段落F1-F6中的任一项所述的MEMS装置,其中所述MEMS装置包括与所述表面层相反的绝缘层。
- [0370] F7.1.根据段落F7所述的MEMS装置,其中所述一个或多个电极位于定位于所述绝缘层与所述表面层之间的电极层中。
- [0371] F8.根据段落F1-F7.1中任一项所述的MEMS装置,其中所述一个或多个电极包括四个电极。
- [0372] F9.根据段落F1-F7.1中任一项所述的MEMS装置,其中所述一个或多个电极包括七个电极。
- [0373] F10.根据段落F1-F9中任一项所述的MEMS装置,其中所述至少四极场是偶极场、四极场、六极场或八极场中的一个。
- [0374] F11.根据段落F1-F10中任一项所述的MEMS装置,其中至少四极场不会使所述第一带电粒子束的所述焦平面发生变化。
- [0375] F12.根据段落F1-F11中任一项所述的MEMS装置,其中所述MEMS装置进一步被配置成产生一个或多个偶极场。
- [0376] F12.1.根据段落F12所述的MEMS装置,其中所述一个或多个偶极场使所述带电粒子束中的至少一个在垂直于所述发射轴的方向上偏转。
- [0377] G1.根据段落F1-F12.1中任一项所述的MEMS装置中的任何MEMS装置的使用。

[0378] G2. 使用根据段落F1-F12.1所述的MEMS装置中的任何MEMS装置执行根据段落A1-A16、B1-B15、L1-L10.2或M1-M9.1所述的方法。

[0379] G3. 使用根据段落F1-F12.1所述的MEMS装置中的任何MEMS装置以研究样品。

[0380] H1. 在根据段落C1-C20中的任一项所述的系统中使用根据段落F1-F12.1所述的MEMS装置中的任一项。

[0381] I1. 一种光阑透镜阵列装置,其包括:至少一个物理结构,所述至少一个物理结构限定:第一光阑,所述第一光阑被配置成允许多个带电粒子的第一部分带电粒子穿过所述光阑透镜阵列装置;第二光阑,所述第二光阑被配置成允许所述多个带电粒子的第二部分带电粒子穿过所述光阑透镜阵列装置;多个其它光阑;以及至少一个电极,其中所述第一光阑、所述第二光阑和所述多个其它光阑形成模式,当对应的电压施加到所述至少一个物理结构和所述至少一个电极时,所述模式在使用所述光阑透镜阵列装置期间产生向所述第二部分带电粒子施加透镜效应的电磁场。

[0382] I1.1. 根据段落I1所述的光阑透镜阵列装置,其中所述多个带电粒子形成入射到所述光阑透镜阵列装置上的源束。

[0383] I1.1.1. 根据段落I1-I1.1中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述多个带电粒子是多个电子。

[0384] I2. 根据段落I.1-I1.1.1中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述第一光阑被配置成将所述第一部分带电粒子形成第一带电粒子束,并且所述第二光阑被配置成将所述第二部分带电粒子形成第二带电粒子束。

[0385] I2.1. 根据段落I2所述的光阑透镜阵列装置,其中所述电磁场在使用所述光阑透镜阵列装置期间向所述第二带电粒子束施加至少一种四极透镜效应。

[0386] I2.1.1. 根据段落I2.1所述的光阑透镜阵列装置,其中所述电磁场在使用所述光阑透镜阵列装置期间不向所述第一带电粒子束施加所述四极透镜效应。

[0387] I2.1.2. 根据段落I2-I2.1.1中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述电磁场在使用所述光阑透镜阵列装置期间向所述第一带电粒子束施加圆形透镜效应。

[0388] I2.1.3. 根据段落I2-I2.1.2中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述电磁场在使用所述光阑透镜阵列装置期间向所述第二带电粒子束施加至少一种圆形透镜效应。

[0389] I3. 根据段落I1-I2.1.3中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中由所述电磁场施加的所述透镜效应至少部分地引起修改所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个的所述焦平面。

[0390] I3.1. 根据段落I1所述的光阑透镜阵列装置,其中由所述透镜效应引起的所述焦平面的所述修改使所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束具有不同的焦平面。

[0391] I3.2. 根据段落I3-I3.1中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述电磁场的确改变了所述第一带电粒子束的所述焦平面。

[0392] I4. 根据段落I1-I3.2中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述多个光阑中的至少一个光阑是孔。

[0393] I4.1. 根据段落I4所述的光阑透镜阵列装置,其中所述孔包括:入口,所述入口限定在所述至少一个物理结构的第一表面中,所述第一表面面对所述多个带电粒子;出口,所述出口限定在与所述第一表面相反的所述至少一个物理结构的第二表面中;以及空体积,

所述空体积连接所述入口和所述出口。

[0394] I4.1.1.根据段落I4.1所述的光阑透镜阵列装置,其中所述第一表面和所述第二表面各自是单个物理结构的表面。

[0395] I4.1.2.根据段落I4.1所述的光阑透镜阵列装置,其中所述第一表面和所述第二表面各自是不同物理结构的表面。

[0396] I5.根据段落I1-I4.1.2中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述多个光阑中的至少一个光阑是腔。

[0397] I5.1.根据段落I5所述的光阑透镜阵列装置,其中所述腔包括:入口,所述入口限定在所述至少一个物理结构的第一表面中,所述第一表面面对所述多个带电粒子;以及空体积,所述空体积与所述入口连通并且由所述至少一个物理结构限定,其中所述至少一个物理结构限定所述空体积,使得通过所述入口进入所述空体积的所述多个带电粒子中的带电粒子不穿过所述双焦点束成形器。

[0398] I5.1.根据段落I5.1所述的光阑透镜阵列装置,其中所述腔由单个物理结构限定。

[0399] I5.2.根据段落I5.1所述的光阑透镜阵列装置,其中所述腔由多个物理结构限定。

[0400] I6.根据段落I4-I5.2中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述多个光阑包括孔和腔的组合。

[0401] I7.根据段落I1-I6中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑中的光阑中的至少一个的几何形状是圆形的。

[0402] I8.根据段落I1-I7中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑中的光阑中的至少一个的几何形状是矩形的。

[0403] I9.根据段落I1-I8中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑中的光阑中的至少一个的几何形状是正方形的。

[0404] I10.根据段落I1-I9中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑中的光阑中的至少一个的几何形状具有圆角。

[0405] I11.根据段落I1-I10中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑的几何形状不均匀。

[0406] I12.根据段落I1-I11中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述第一光阑、所述第二光阑或所述多个光阑的大小不均匀。

[0407] I13.根据段落I1-I12中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述至少一个电极包括配置成接收第一施加电压的第一电极。

[0408] I13.1.根据段落I13所述的光阑透镜阵列装置,其中所述第一电极包括至少部分地限定电极入口光阑的物理结构,所述电极入口光阑允许所述多个带电粒子的至少一部分穿过所述第一电极。

[0409] I13.1.1.根据段落I13.1所述的光阑透镜阵列装置,其中所述电极入口光阑是第一电极入口光阑,所述第一电极入口光阑允许所述多个带电粒子的第一部分穿过所述第一电极,并且所述第二电极进一步限定第二电极入口光阑,所述第二电极入口光阑允许所述多个带电粒子的第二部分穿过所述第一电极。

[0410] I13.2.根据段落I13-I13.1.1中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述第一电极在所述第一光阑、所述第二光阑和所述多个光阑的上游。

[0411] I13.3.根据段落I13-I13.2中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述第一电极是盘状电极。

[0412] I13.4.根据段落I13-I13.3中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述至少一个电极进一步包括配置成接收第二施加电压的第二电极。

[0413] I13.4.1.根据段落I13.4所述的光阑透镜阵列装置,其中第一电压不同于第二电压。

[0414] I13.4.2.根据段落I13.4所述的光阑透镜阵列装置,其中第一电压和第二电压相同。

[0415] I13.4.3.根据段落I13.4-I13.4.2中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述第二电极包括至少部分地限定电极出口光阑的物理结构,所述第一带电粒子束和所述第二带电粒子束中的至少一个穿过所述第二电极。

[0416] I13.4.3.1.根据段落I13.4.3所述的光阑透镜阵列装置,其中所述电极出口光阑是第一电极出口光阑,所述第一电极出口光阑允许所述第一带电粒子束穿过所述第二电极,并且所述第二电极进一步包括允许所述第二带电粒子束穿过所述第二电极的第二电极出口光阑。

[0417] I13.4.4.根据段落I13.4-I13.4.3.1中任一项所述的光阑透镜阵列装置,其中所述第二电极定位于所述第一光阑、所述第二光阑和所述多个光阑的下游。

[0418] J1.根据段落I1-I13.4.4中任一项所述的多光阑装置的使用。

[0419] J2.使用根据段落I1-I13.4.4中任一项所述的多光阑装置执行根据段落A1-A16、B1-B15、L1-L10.2或M9.1所述的方法。

[0420] J3.使用根据段落I1-I13.4.4中任一项所述的多光阑装置以研究样品。

[0421] K1.在根据段落C1-C20中的任一项所述的系统中使用根据段落I1-I13.4.4中的任一项所述的多光阑装置。

[0422] L1.一种用于用TEM和STEM技术研究样品的方法,所述方法包括:朝着样品发射多个电子;将多个电子粒子形成为第一电子束和第二电子束;修改所述第一电子束和所述第二电子束中的至少一个的聚焦特性,使得:所述第一电子束是聚焦在所述样品处或附近的平面处的STEM束;并且所述第二电子束是入射到所述样品上的TEM束;检测由入射到所述样品上的所述STEM束和所述TEM束产生的发射。

[0423] L1.1.根据段落L1所述的方法,其中当入射到所述样品上时,所述TEM束是平行束。

[0424] L1.2.根据段落L1所述的方法,其中当入射到所述样品上时,所述TEM束是会聚束。

[0425] L1.3.根据段落L1所述的方法,其中当入射到所述样品上时,所述TEM束是发散束。

[0426] L2.根据段落L1-L1.3中任一项所述的方法,其进一步包括根据由入射到所述样品上的所述STEM束和所述TEM束产生的检测到的发射,产生STEM图像和TEM图像中的一个或两个。

[0427] L3.根据段落L1-L2中任一项所述的方法,其中检测由入射到所述样品上的所述STEM束和所述TEM束产生的发射包括使用同一检测器和/或检测器阵列检测(1)由入射到所述样品上的所述STEM束产生的发射和(2)由入射到所述样品上的所述TEM束产生的发射。

[0428] L4.根据段落L1-L3中任一项所述的方法,其中检测由入射到所述样品上的所述STEM束和所述TEM束产生的发射包括同时检测(1)由入射到所述样品上的所述STEM束产生

的发射和(2)由入射到所述样品上的所述TEM束产生的发射。

[0429] L4.1.根据段落L4所述的方法,其进一步包括跨所述样品的表面区域扫描所述STEM束。

[0430] L4.1.1.根据段落L4.1所述的方法,其中在扫描所述STEM束的同时,所述TEM束保持入射到所述样品上。

[0431] L4.1.2.根据段落L4.1-L4.1.1中任一项所述的方法,其中在扫描所述STEM束的同时,所述TEM束保持入射到静态定位上。

[0432] L5.根据段落L1-L4.1中任一项所述的方法,其进一步包括在STEM操作模式、TEM操作模式和同步STEM/TEM操作模式中的两个之间进行切换。

[0433] L5.1.根据段落L5所述的方法,其中切换到所述STEM操作模式包括使所述TEM束被阻挡,使得仅所述STEM束入射到所述样品上。

[0434] L5.1.1.根据段落5.1所述的方法,其中使所述TEM束被阻挡包括以下中的一种:使所述TEM束偏转,使得所述TEM束被束阻挡器阻挡;移动束阻挡器,使得所述束阻挡器阻挡所述TEM束的路径;以及阻挡光阑,使得所述TEM束无法穿过所述光阑。

[0435] L5.2.根据段落L5-L5.1中任一项所述的方法,其中切换到所述TEM操作模式包括使所述STEM束被阻挡,使得仅所述TEM束入射到所述样品上。

[0436] L5.2.1.根据段落5.2所述的方法,其中使所述STEM束被阻挡包括以下中的一种:使所述STEM束偏转,使得所述STEM束被束阻挡器阻挡;移动束阻挡器,使得所述束阻挡器阻挡所述STEM束的路径;以及阻挡光阑,使得所述STEM束无法穿过所述光阑。

[0437] L6.根据段落L1-L5.2.1.中任一项所述的方法,其进一步包括确定可归属于入射到所述样品上的所述TEM束的检测到的发射的一部分。

[0438] L6.1.根据段落L6所述的方法,其进一步包括确定可归属于入射到所述样品上的所述STEM束的检测到的发射的一部分。

[0439] L7.根据段落L1-L6.1中任一项所述的方法,其进一步包括基于由入射到所述样品上的所述STEM束和所述TEM束产生的检测到的发射,产生STEM图像。

[0440] L8.根据段落L1-L7中任一项所述的方法,其进一步包括基于由入射到所述样品上的所述STEM束和所述TEM束产生的检测到的发射,产生TEM图像。

[0441] L9.根据段落L1-L8中任一项所述的方法,其中用单个检测器和/或检测器阵列检测由入射到所述样品上的所述STEM束和所述TEM束产生的所述发射。

[0442] L9.1.根据段落L1-L8中任一项所述的方法,其中用第一检测器和/或检测器阵列检测由所述STEM束以及用第二检测器和/或检测器阵列检测由入射到所述样品上的所述TEM束产生的所述发射。

[0443] L9.1.1.根据段落L9.1所述的方法,其中所述第一检测器和/或检测器阵列定位于与所述第二检测器和/或检测器阵列不同的平面中。

[0444] L9.1.1.根据段落L9.1所述的方法,其中所述方法进一步包括机械地切换所述第一检测器和/或检测器阵列和/或所述第二检测器和/或检测器阵列。

[0445] L10.根据段落L1-L9中任一项所述的方法,其中至少部分地由双焦点束成形器执行所述将多个电子粒子形成为第一电子束和第二电子束以及所述修改聚焦特性。

[0446] L10.1.根据段落L10所述的方法,其中所述双焦点束成形器是根据段落F1-F12.1

中的任一项所述的MEMS装置。

[0447] L10.2.根据段落L10所述的方法,其中所述双焦点束成形器是根据段落I1-I13.4.4中的任一项所述的多光阑阵列。

[0448] L10.2.根据段落L10-L10.2中任一项所述的方法,其中所述双焦点束成形器向所述第一电子束和所述第二电子束中的一个施加至少一种四极透镜效应。

[0449] M1.一种用于双焦点多束样品处理的方法,所述方法包括:朝着样品发射多个电子;将所述多个电子分离成第一电子束和第二电子束;修改所述第一电子束和所述第二电子束中的至少一个的聚焦特性;用所述第一电子束处理所述样品的区域以引起所述样品的物理变化;以及在所述处理期间用所述第二电子束对所述样品的所述区域进行成像。

[0450] M2.根据段落M1所述的方法,其中所述处理和所述成像同时执行。

[0451] M3.根据段落M1-M2中任一项所述的方法,其中处理所述样品的所述区域包括将所述第一电子束聚焦到所述样品的表面处或附近的平面上。

[0452] M3.1.根据段落M3所述的方法,其中所述处理进一步包括将气体引入到邻近所关注区域的体积。

[0453] M3.2.根据段落M3-M3.1中任一项所述的方法,其中所述处理进一步包括引起对所述样品的所述表面的辐射损伤。

[0454] M3.3.根据段落M3-M3.2中任一项所述的方法,其中所述处理进一步包括引起对所述样品的辐射区域的可变。

[0455] M3.4.根据段落M3-M3.3中任一项所述的方法,其中所述处理进一步包括电子束引起的蚀刻。

[0456] M3.4.1.根据段落M3.4所述的方法,其中所述处理进一步包括用所述第一电子束执行气体辅助蚀刻。

[0457] M3.5.根据段落M3-M4.1中任一项所述的方法,其中所述处理进一步包括电子束引起的沉积。

[0458] M3.5.1.根据段落M3.5所述的方法,其中所述处理进一步包括用所述第一电子束执行气体辅助沉积。

[0459] M3.5.2.根据段落M3.5-M3.5.1中任一项所述的方法,其中所述执行电子束引起的沉积包括在所述样品上建立针状结构。

[0460] M3.6.根据段落M3-M3.5.2中任一项所述的方法,其中所述处理包括减少对所述样品的所述所关注区域的电荷和/或偏置效应。

[0461] M4.根据段落M1-M3.5.3中任一项所述的方法,其中对所述样品的所述区域进行成像包括聚焦所述第二束,使得所述第二束入射到所关注区域上。

[0462] M4.1.根据段落M4所述的方法,其中所述样品的所述区域进行成像包括用所述第二电子束执行TEM成像。

[0463] M4.2.根据段落M4所述的方法,其中所述样品的所述区域进行成像包括用所述第二电子束执行STEM成像。

[0464] M4.3.根据段落M4-M4.2中任一项所述的方法,其中所述第二束是所述样品的所述表面处或附近所述平面处的平行束。

[0465] M4.4.根据段落M4-M4.3中任一项所述的方法,其中对所述样品的所述区域进行成

像包括：用定位于所述样品下游的检测器检测所述第二电子束和/或由于入射到所述样品上的所述第二束而发射的电子；以及基于检测到的第二电子束和/或由于入射到所述样品上的所述第二束而发射的电子，产生所关注区域的一个或多个图像。

[0466] M4.4.1. 根据段落M4.4所述的方法，其中所述检测器未检测到所述第一电子束。

[0467] M4.4.1.1. 根据段落M4.4.1所述的方法，其中所述第一电子束在所述样品处的倾斜角使得所述第二电子束不入射到所述检测器上。

[0468] M4.3.1.2. 根据段落M4.4.1-M4.4.1.1中任一项所述的方法，其中所述第二电子束被阻挡，使得所述第二电子束不撞击所述样品。

[0469] M4.3.1.2.1. 根据段落M4.3.1.2所述的方法，其中所述第二电子束被物镜光阑阻挡。

[0470] M5. 根据段落M1-M4.3.1.2中任一项所述的方法，其中修改所述第一电子束和所述第二电子束中的至少一个的聚焦特性包括向所述束中的至少一个施加至少一种四极透镜效应。

[0471] M5.1. 根据段落M5所述的方法，其中所述至少一种四极透镜效应由双焦点束成形器施加。

[0472] M5.2. 根据段落M5.1.所述的方法，其中所述双焦点束成形器是根据段落F1-F12.1中的任一项所述的MEMS装置。

[0473] M5.3. 根据段落M5.1.所述的方法，其中所述双焦点束成形器是根据段落I1-I13.4.4中的任一项所述的多光阑装置。

[0474] M6. 根据段落M1-M5.3中任一项所述的方法，其进一步包括使所述第一电子束偏转以对所述样品的不同区域执行处理。

[0475] M6.1. 根据段落M6所述的方法，其中所述第一电子束的所述偏转由所述双焦点束成形器执行。

[0476] M6.2. 根据段落M6-6.1中任一项所述的方法，其中所述第一电子束的所述偏转由多极元件执行。

[0477] M7. 根据段落M1-6.2中任一项所述的方法，其中将所述多个电子分离成第一电子束和第二电子束包括将所述多个电子分离成轴向第一电子束和非轴向第二电子束。

[0478] M8. 根据段落M1-6.2中任一项所述的方法，其中将所述多个电子分离成第一电子束和第二电子束包括将所述多个电子分离成非轴向第一电子束和轴向第二电子束。

[0479] M9. 根据段落M1-M8中任一项所述的方法，基于使用所述第二电子束对所述样品的所述区域进行成像，来改变所述STEM束的特性。

[0480] M9.1. 根据段落M9所述的方法，其中改变所述STEM束的所述特性包含改变以下中的一个或多个：所述第一电子束在所关注区域上的入射定位；所述第一电子束在所关注区域上的光斑大小；所述第一电子束的电流。

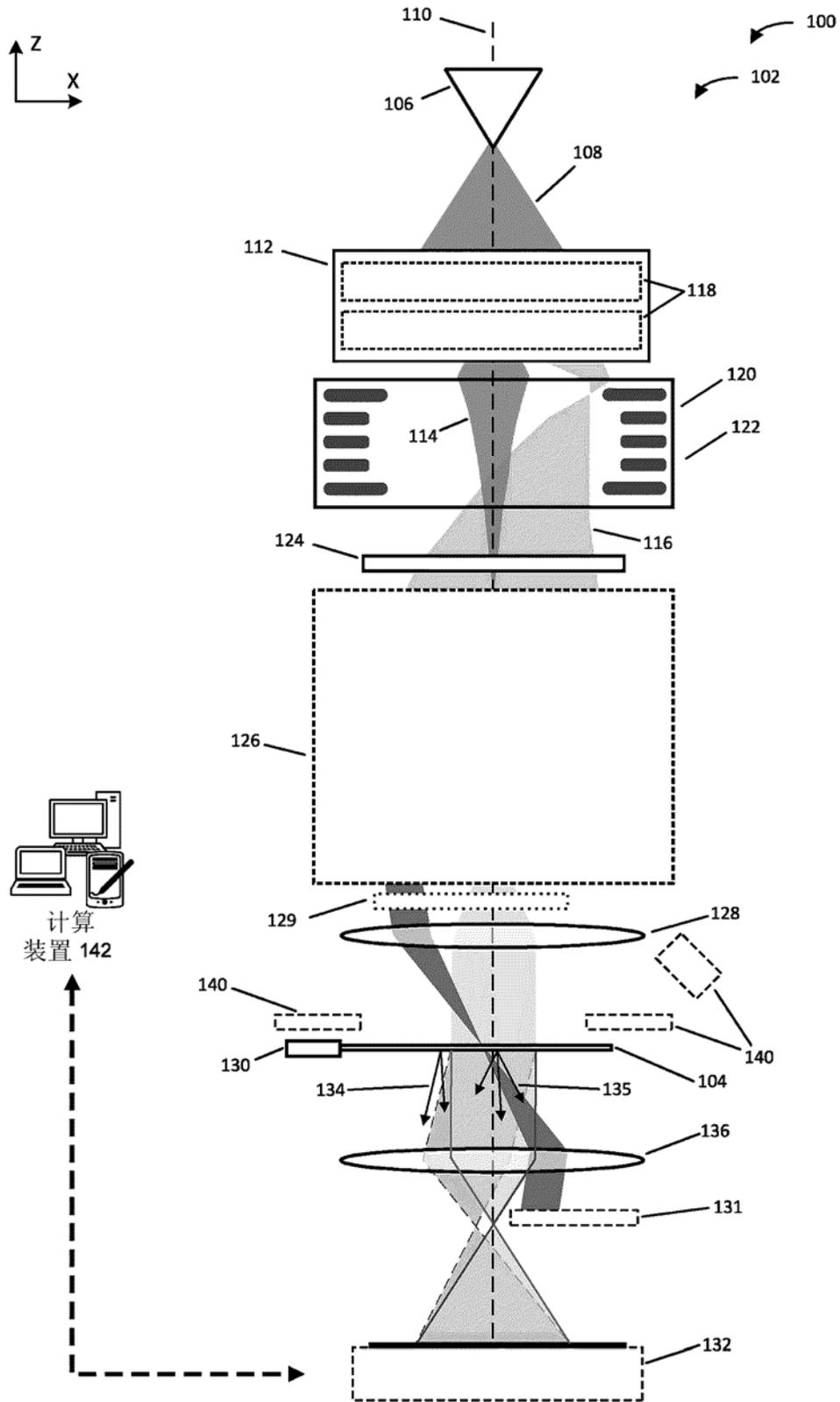


图 1

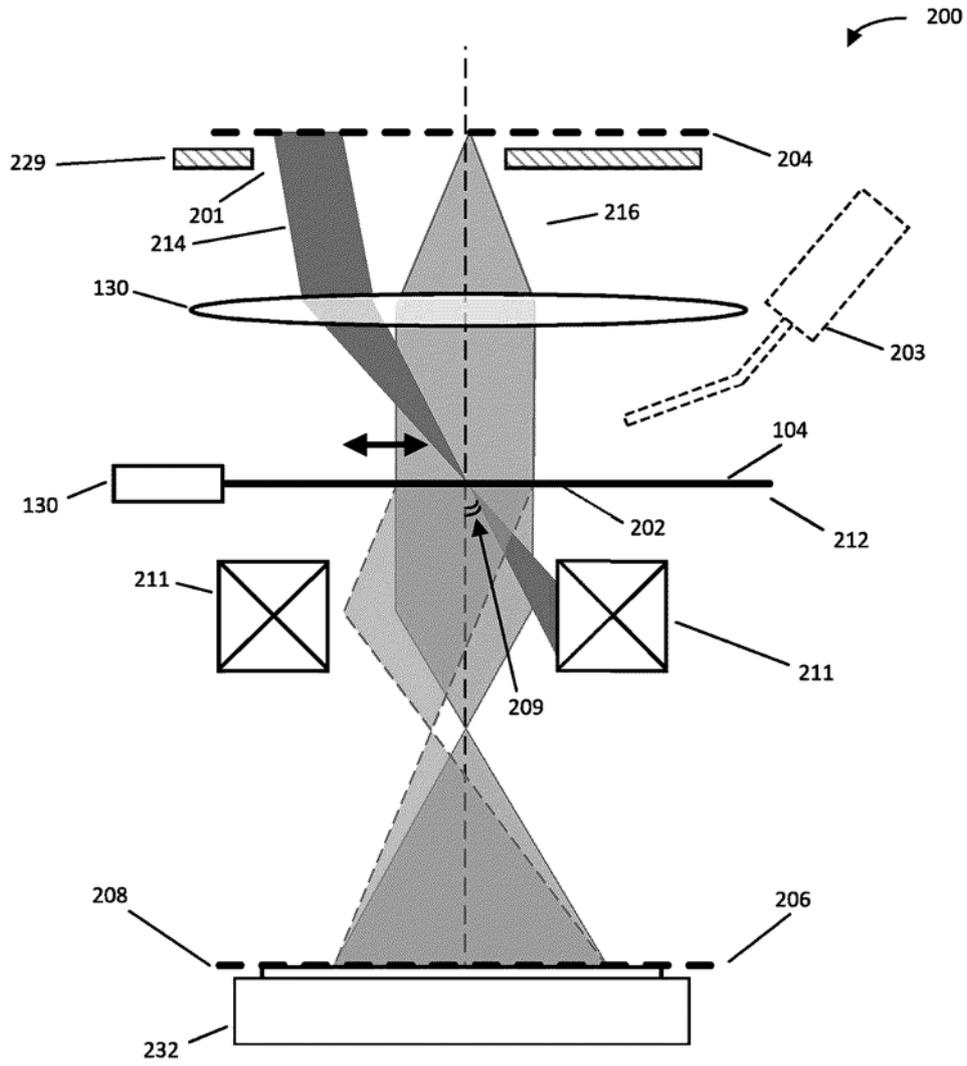


图 2

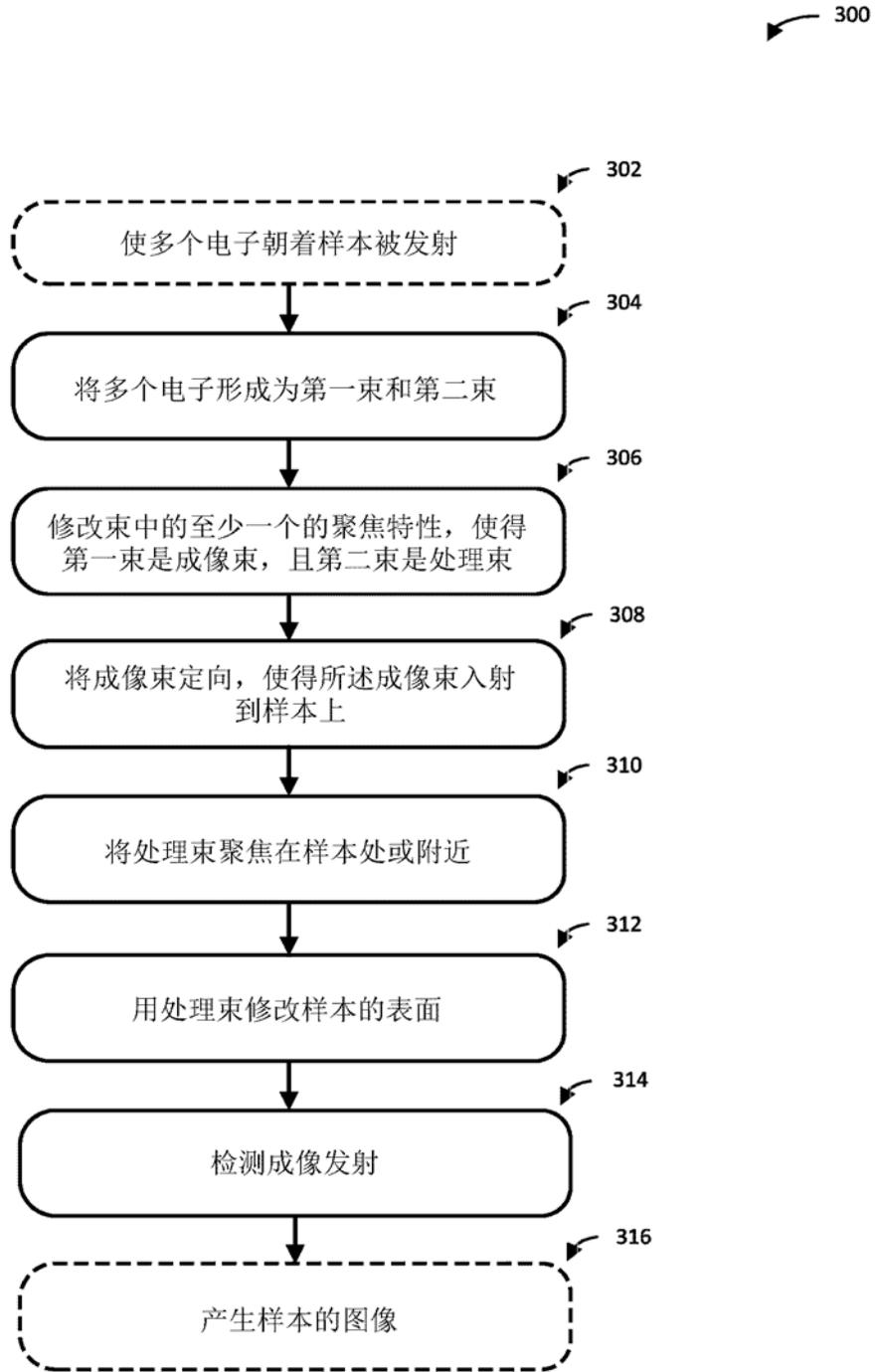


图 3

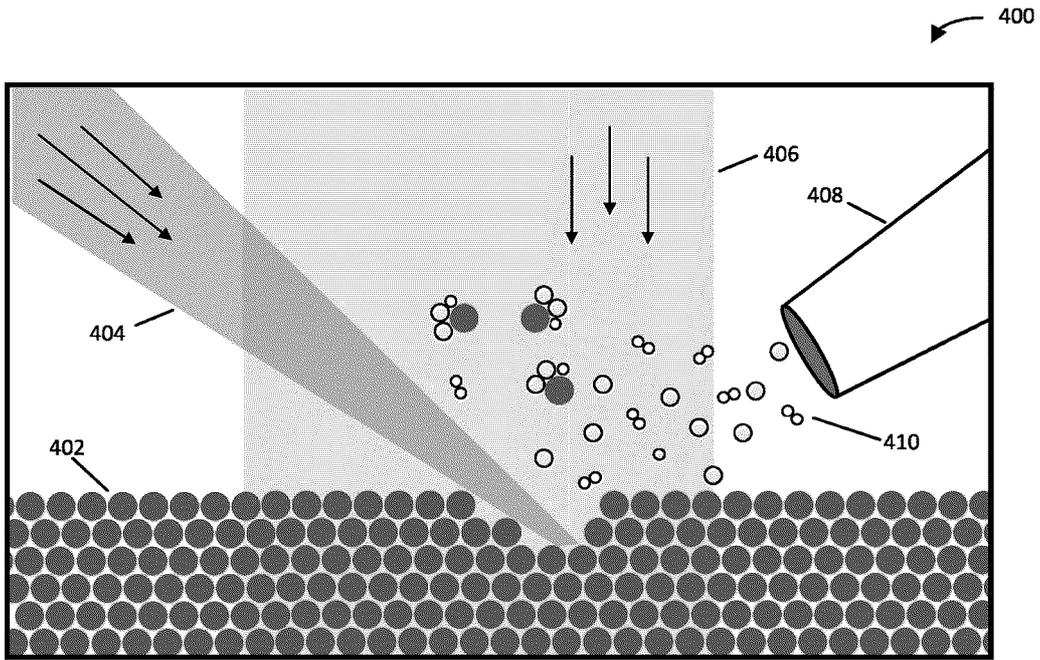


图 4

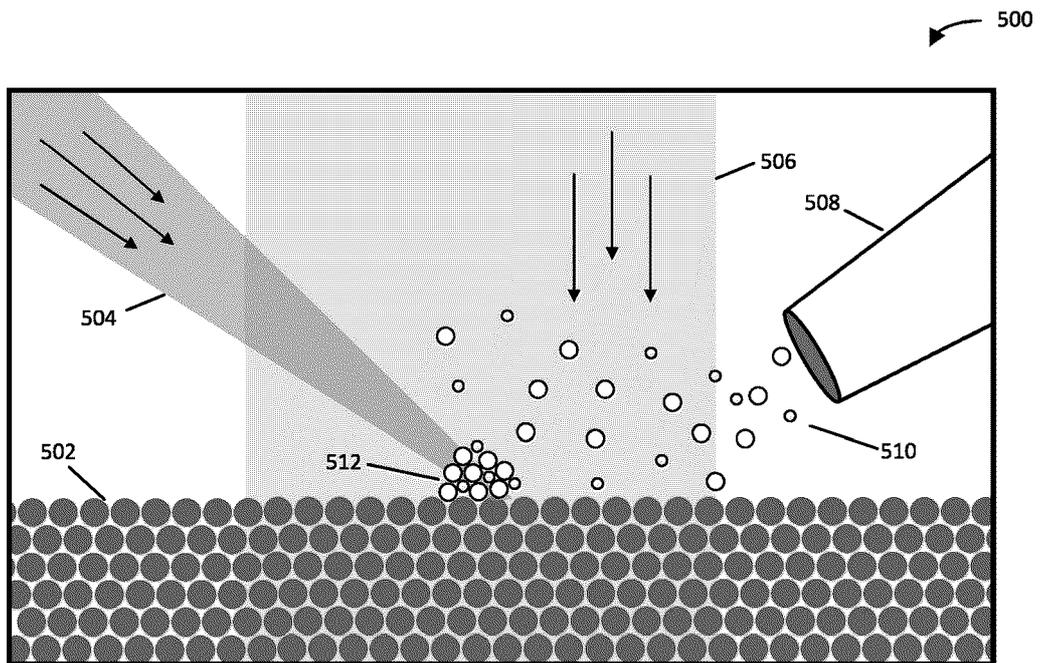


图 5

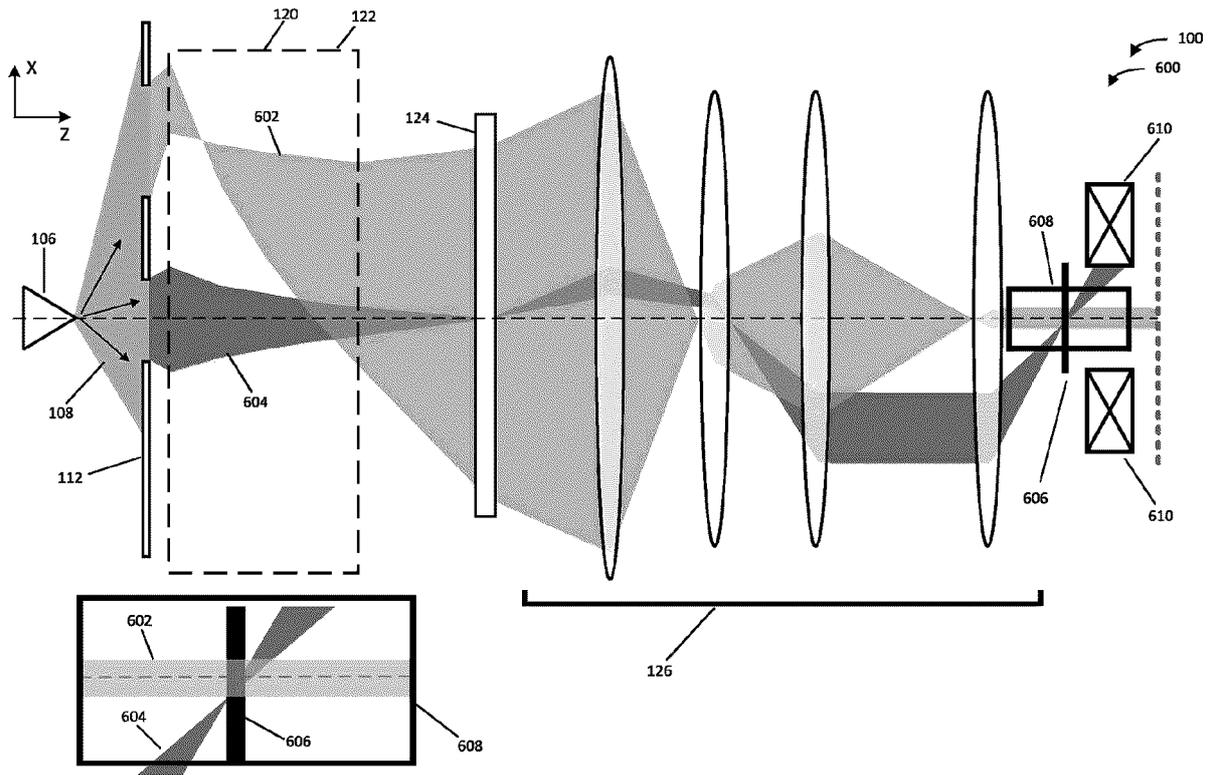


图 6

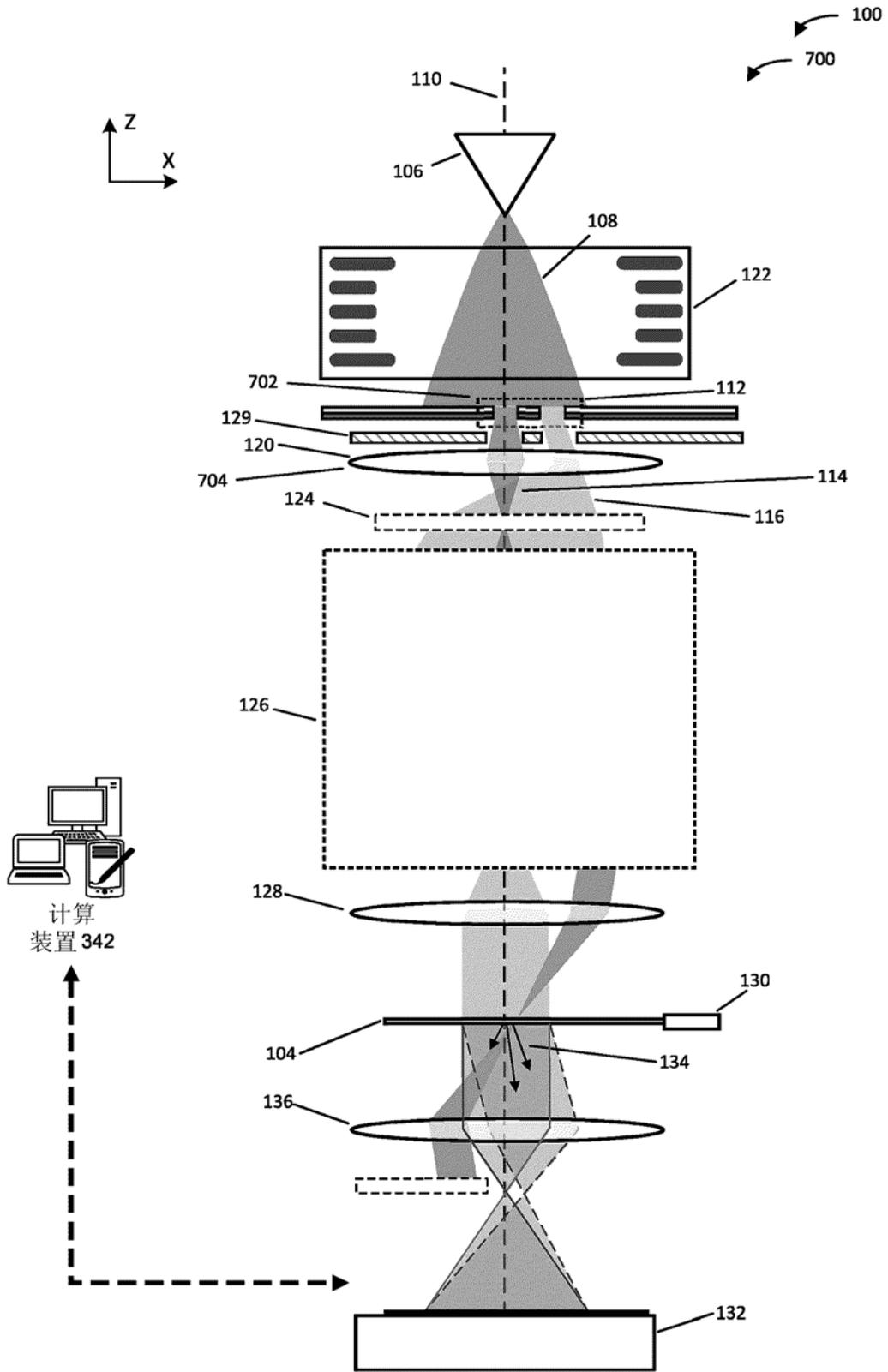


图 7

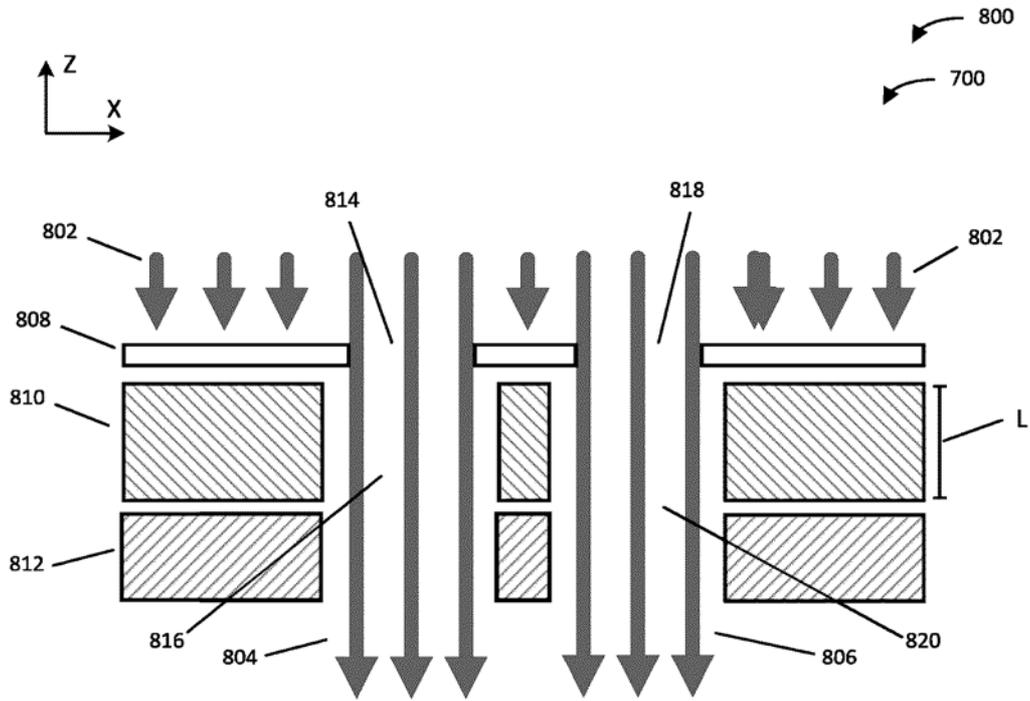


图 8

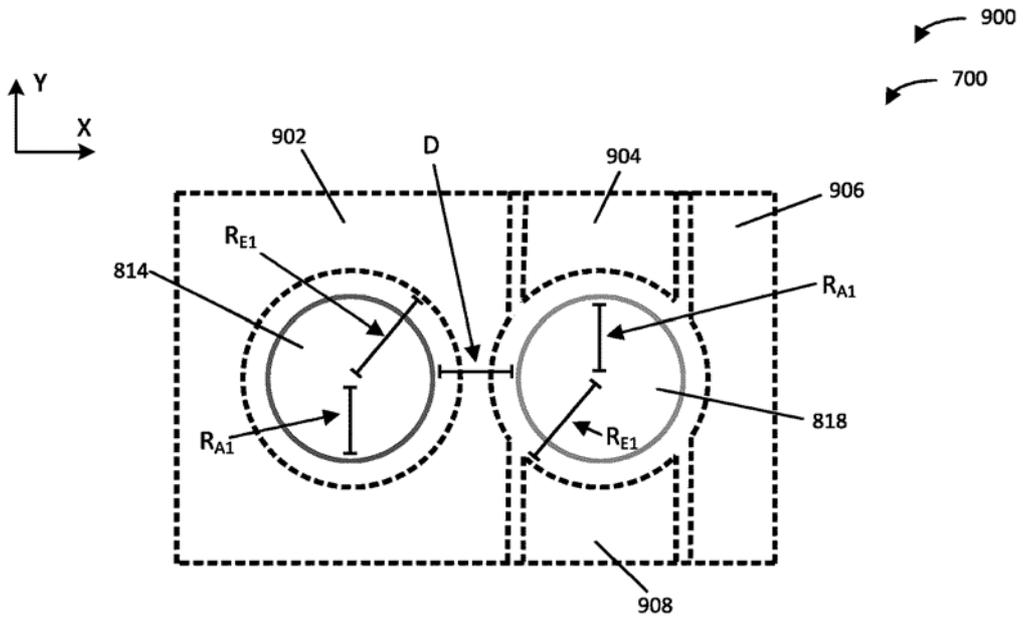


图 9

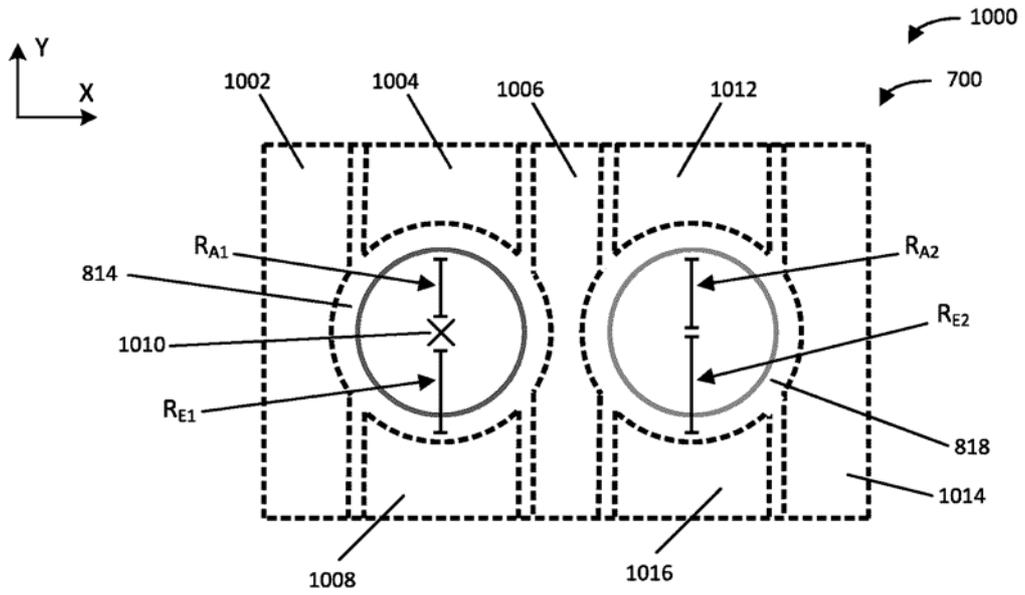


图 10

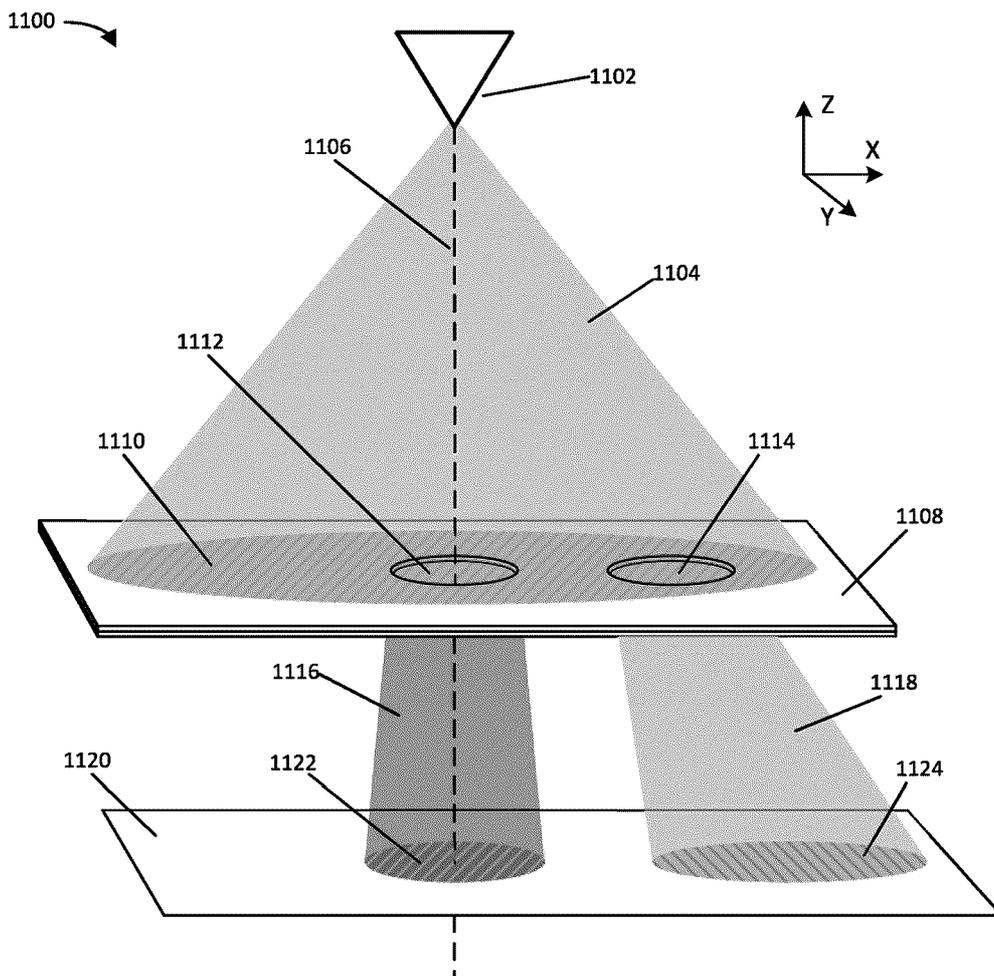


图 11

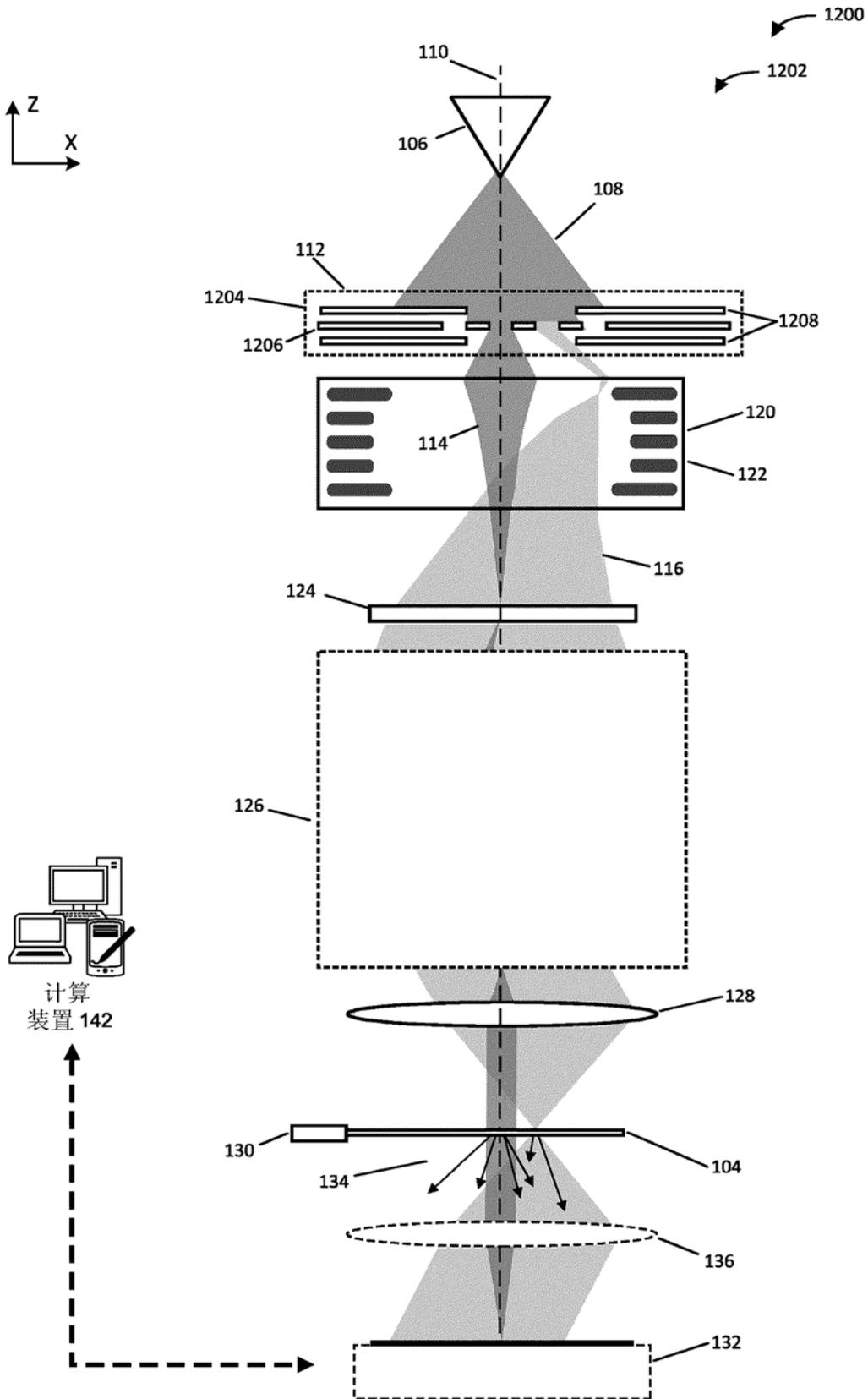


图 12

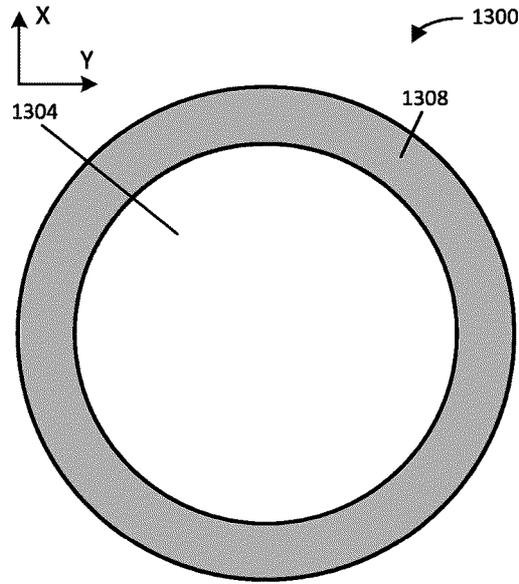


图 13

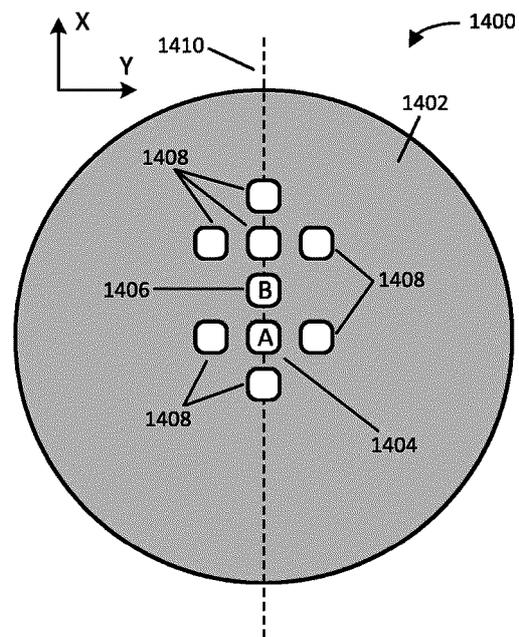


图 14

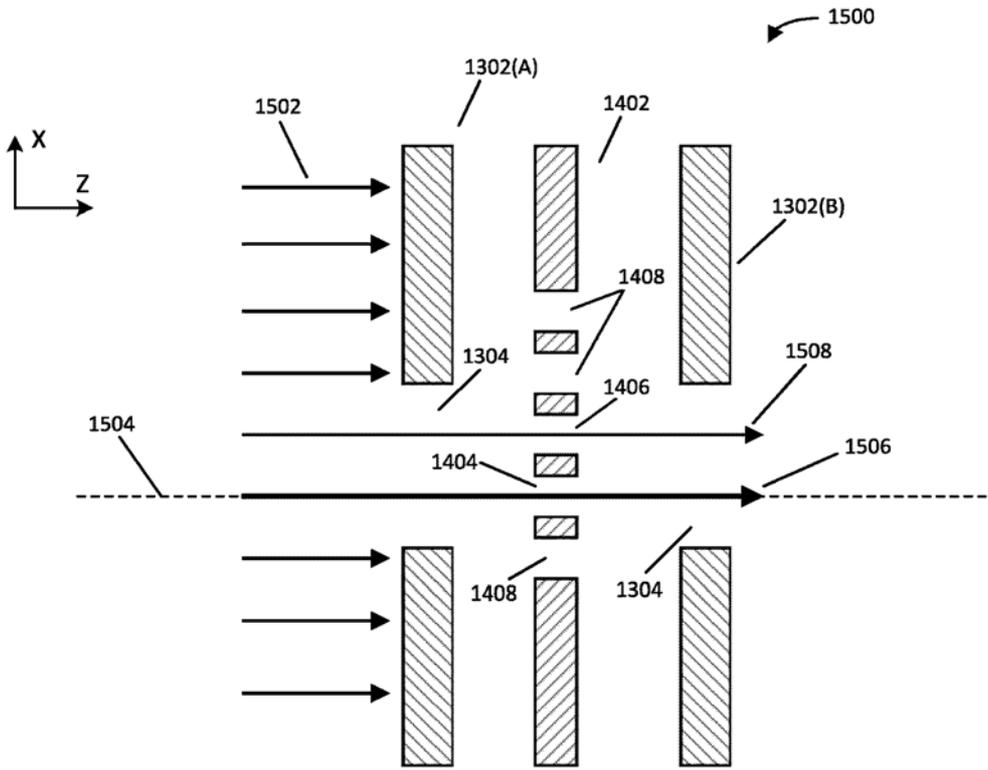


图 15

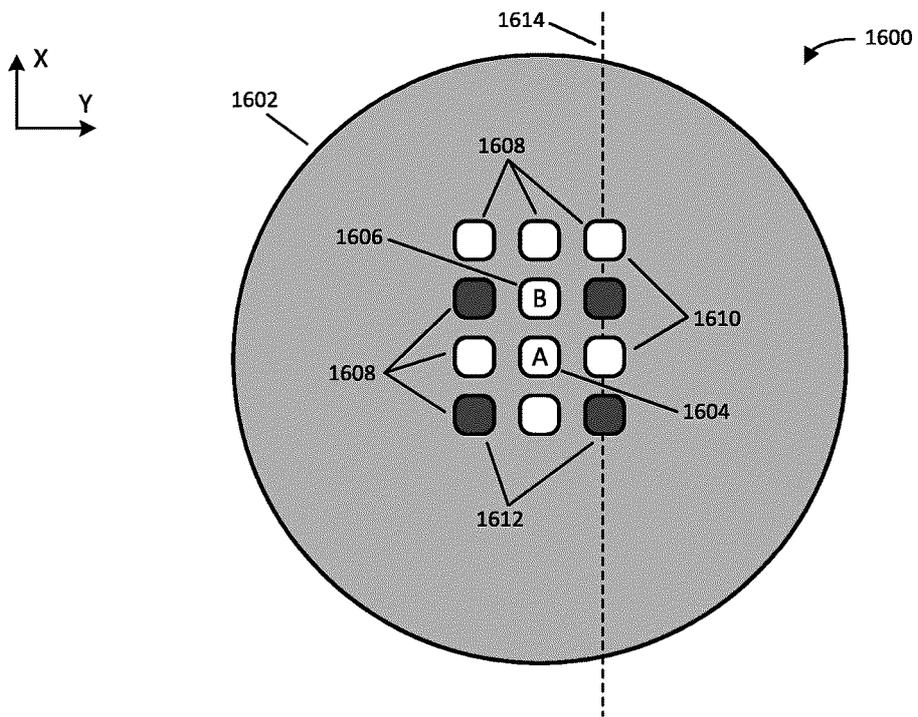


图 16

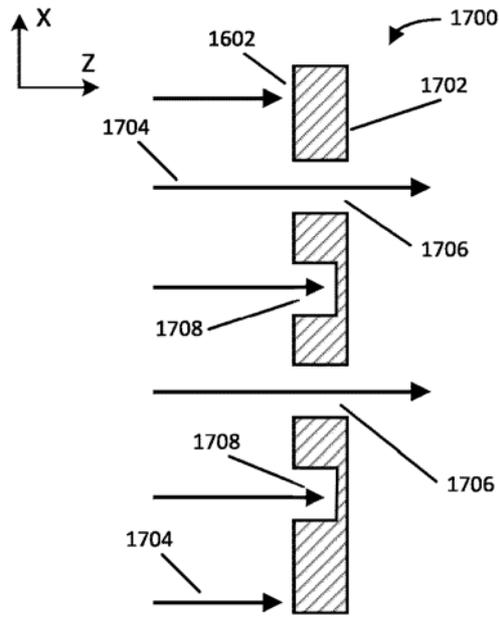


图 17

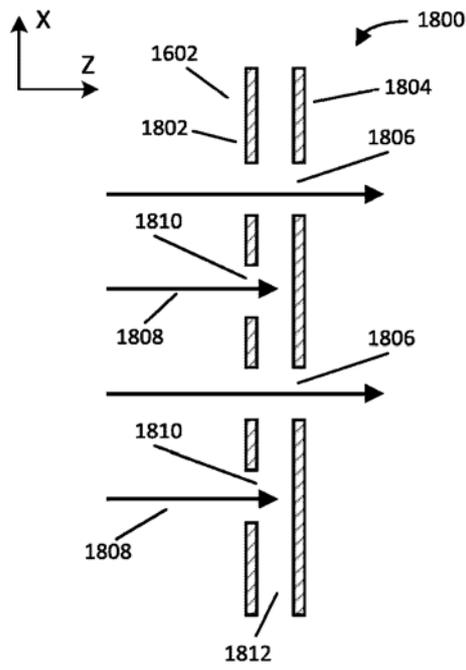


图 18

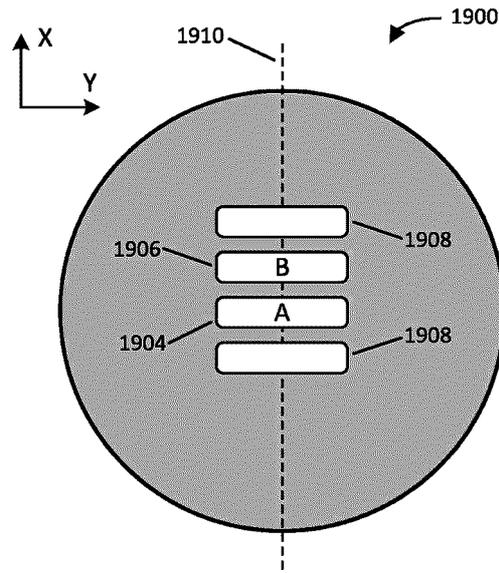


图 19

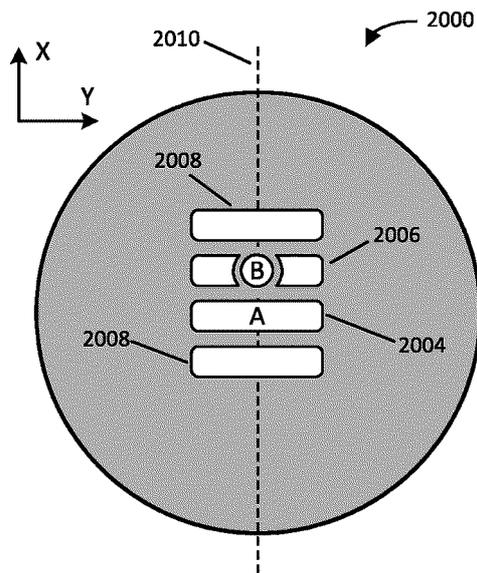


图 20

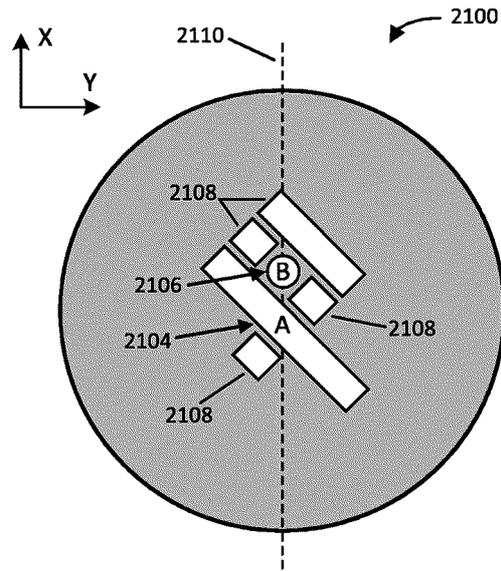


图 21

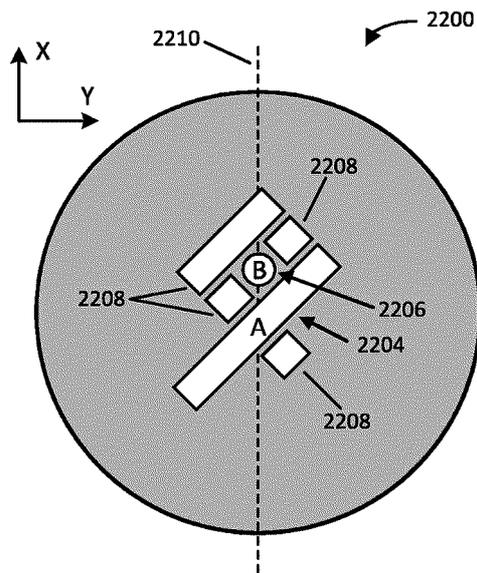


图 22

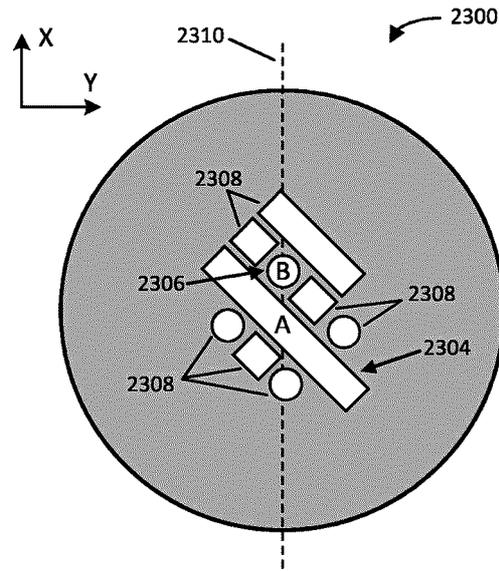


图 23

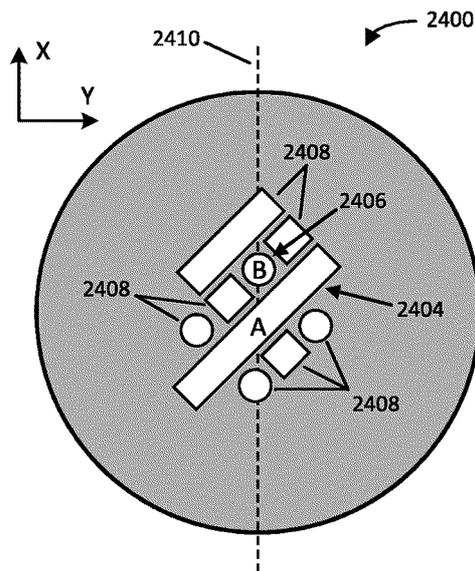


图 24

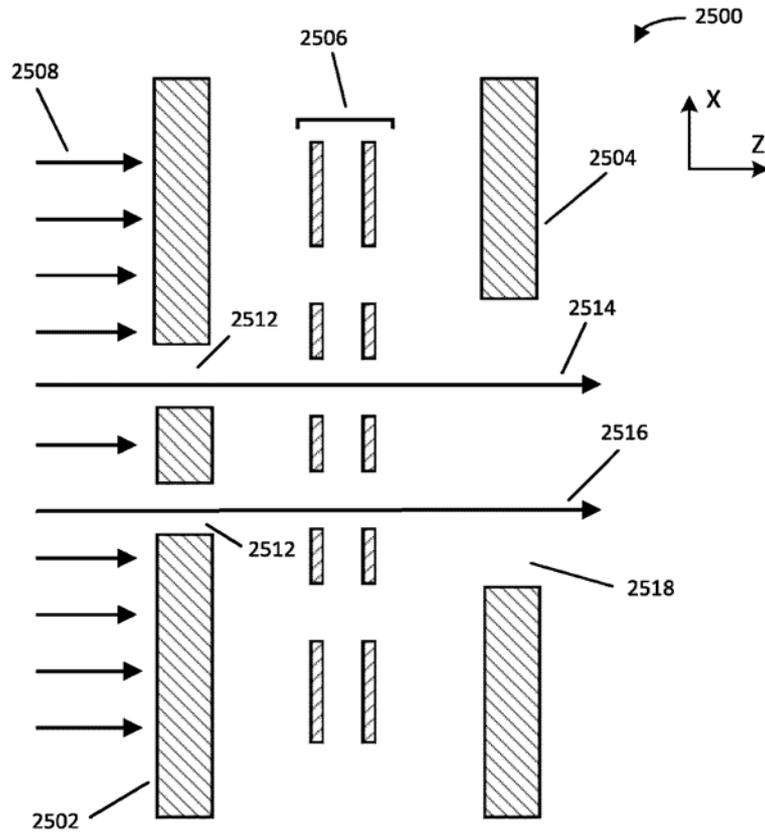


图 25

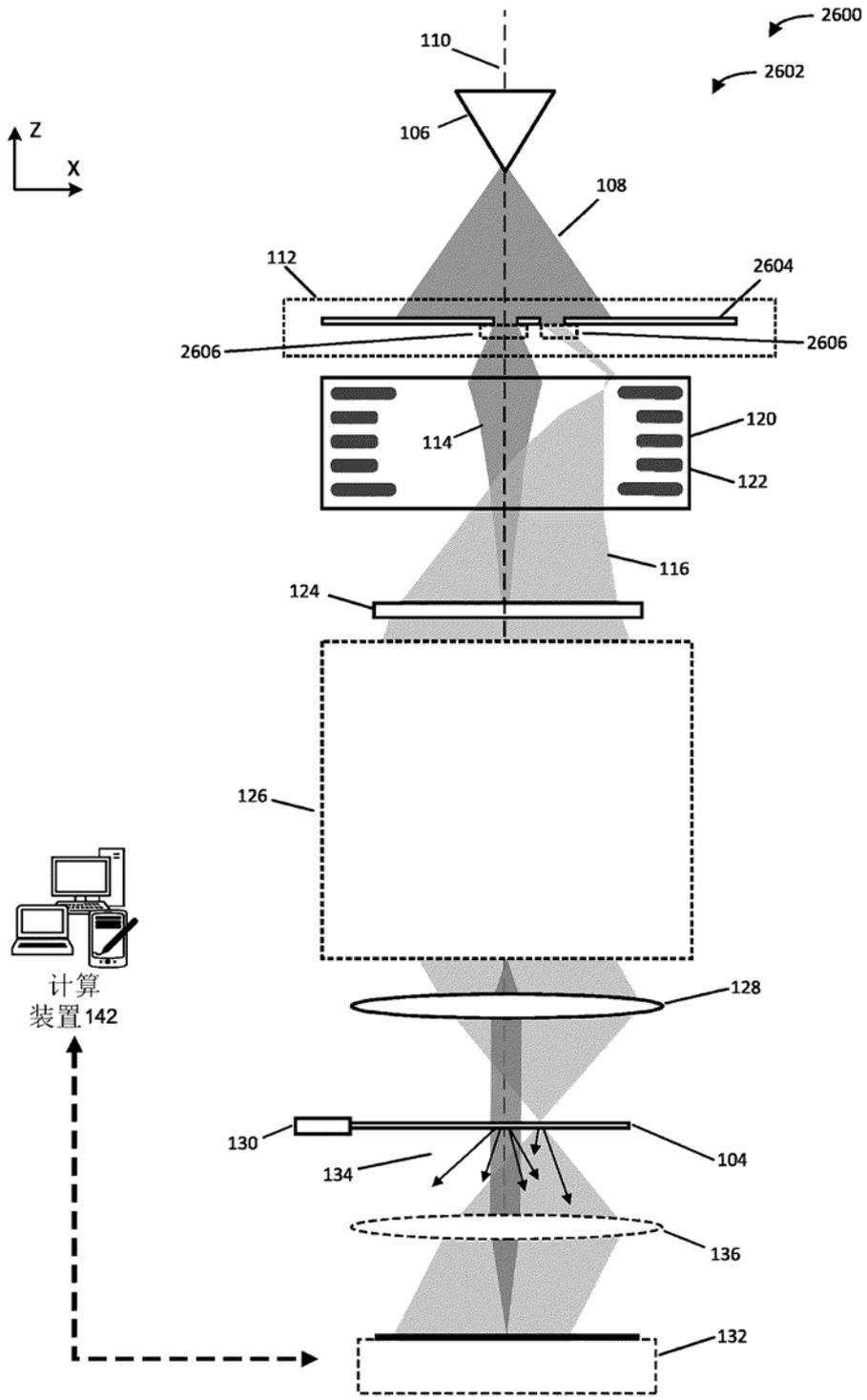


图 26