



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111627787 B

(45) 授权公告日 2025.01.28

(21) 申请号 202010123762.6

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2020.02.27

H01J 37/28 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

H01J 37/244 (2006.01)

申请公布号 CN 111627787 A

(56) 对比文件

(43) 申请公布日 2020.09.04

CN 105529235 A, 2016.04.27

(30) 优先权数据

JP H10289847 A, 1998.10.27

16/289292 2019.02.28 US

审查员 杨欢

(73) 专利权人 FEI 公司

地址 美国俄勒冈州

(72) 发明人 A.穆罕默迪-葛黑达日 I.拉锡克

E.博世 G.范韦恩

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

专利代理人 周学斌 申屠伟进

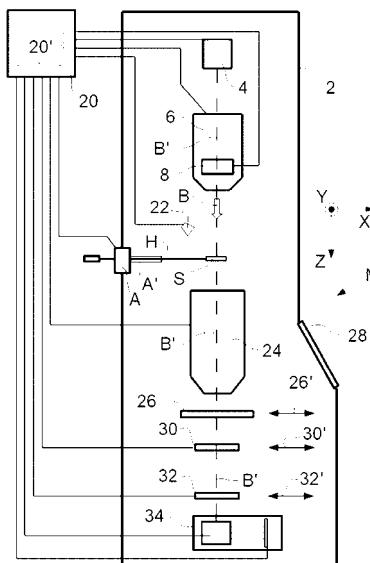
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

多射束扫描透射带电粒子显微镜

(57) 摘要

本文公开用于多射束扫描透射带电粒子显微镜的技术。实例设备至少包括带电粒子射束柱，所述带电粒子射束柱用于产生多个带电粒子射束，并用所述多个带电粒子射束中的每个来辐照样品；和成像系统，所述成像系统用于收集在所述辐照期间横穿所述样品的所述多个带电粒子射束中的所述带电粒子射束的每个的带电粒子，并且在横穿所述样品之后将所述多个带电粒子射束中的每个带电粒子射束引导到检测器上，其中每个带电粒子射束包括质心，并且其中所述检测器安置在所述成像系统的后焦平面与成像平面之间的中间位置。



1. 一种扫描透射带电粒子显微镜,其包含:

带电粒子射束柱,所述带电粒子射束柱用于产生多个带电粒子射束,并用所述多个带电粒子射束中的每个辐照样品;

扫描组件,所述扫描组件用于产生所述多个带电粒子射束相对于所述样品的相对扫描运动;和

成像系统,所述成像系统用于收集在所述辐照期间横穿所述样品的所述多个带电粒子射束中的所述带电粒子射束中的每个的带电粒子,并且在横穿所述样品之后将所述多个带电粒子射束中的每个带电粒子射束引导到检测器上,

其中所述多个带电粒子射束中的每个带电粒子射束均包括质心,并且

其中所述检测器安置在所述成像系统的后焦平面与成像平面之间的中间位置,所述中间位置由所述多个带电粒子射束的重合位置和每个带电粒子射束的所述质心不再可区分的位置来界定。

2. 根据权利要求1所述的显微镜,其中所述检测器选自包含亮场检测器、暗场检测器、位置敏感检测器及其组合的组。

3. 根据权利要求1所述的显微镜,其中:

所述检测器是位置敏感检测器;并且

所述显微镜中包括的控制器被配置为:

基于来自所述位置敏感检测器的输出来生成矢量场;并且

将二维积分运算应用于所述矢量场。

4. 根据权利要求1或3所述的显微镜,其中所述扫描组件包含用于产生样品固持器的扫描运动的致动器系统。

5. 根据权利要求1或3所述的显微镜,其中所述扫描组件包含:

在所述样品的上游的第一射束偏转器系统,其用于产生所述多个射束的扫描运动;和

在所述样品的下游和所述检测器平面的上游的第二射束偏转器系统,其用于使由所述第一射束偏转器系统产生的所述扫描运动无效。

6. 根据权利要求1至5中任一项所述的显微镜,其中通过将原始带电粒子射束引导到在原始射束的覆盖区内具有多个开口的孔板上来生成所述多个带电粒子射束。

7. 根据权利要求1至5中任一项所述的显微镜,其中所述多个带电粒子射束由多个带电粒子射束柱产生。

8. 根据权利要求1至5中任一项所述的显微镜,其中中间平面被定位成使得所述多个带电粒子射束的相邻质心在所述中间平面中相隔所述带电粒子射束的轮廓的直径的至少两倍。

9. 根据权利要求1至5中任一项所述的显微镜,其中中间平面进一步在所述后焦平面方向上由所述多个带电粒子射束从所述重合位置处充分出射的位置界定,使得能够单独检测单个带电粒子射束及其相应的质心。

10. 根据权利要求1至5中任一项所述的显微镜,其中中间平面在所述成像平面方向上进一步由所述多个带电粒子射束中的每个的所述质心仍可检测的位置界定。

11. 一种使用扫描透射带电粒子显微镜的方法,所述方法包含:

同时用多个带电粒子射束辐照样品,其中所述多个带电粒子射束中的每个带电粒子射

束辐照所述样品的相应区；

使所述带电粒子射束相对于所述样品进行扫描；

收集在所述辐照期间横穿所述样品的带电粒子，并将收集的带电粒子引导到检测器上，

其中所述检测器安置在成像系统的后焦平面和成像平面之间的检测器平面中，并且

其中中间位置由所述多个带电粒子射束的重合位置和每个带电粒子射束的质心不再可区分的位置界定。

12. 根据权利要求11所述的方法，其中所述中间位置被定位成使得所述多个带电粒子射束中的至少两个相邻的带电粒子射束的亮场圆盘相隔亮场圆盘半径的两倍的距离。

多射束扫描透射带电粒子显微镜

技术领域

[0001] 本文公开的技术总体涉及电子显微术领域，并且更具体地，在一些实施例中，涉及多射束扫描透射电子显微术。

背景技术

[0002] 电子显微术分为多种类型，其中每种类型具有优点和缺点。在一些情况下，优点和缺点可确定可使用哪种类型的电子显微术。仅列举数例，几个实例类型包括扫描电子显微术、透射电子显微术、扫描透射电子显微术。提及的类型中的每种具有具体的缺点，如果克服所述缺点，则可增加其采用。举例来说，扫描透射电子显微术受到吞吐量不利影响（仅举一个负面实例），如果适当地解决，则可增加其采用。

附图说明

- [0003] 图1是其中可实施所公开的技术的STCPM的实施例的高度示意性描绘。
- [0004] 图2示出本发明的实施例的操作原理。
- [0005] 贯穿附图的若干视图，相似的附图标记指代对应的部分。

具体实施方式

[0006] 如在本申请书和权利要求书中所使用的，除非在上下文中另外明确指明，否则单数形式“一个”、“一种”以及“所述”包括复数形式。另外，术语“包括”意指“包含”。进一步地，术语“联接”不排除在联接项之间存在中间元件。

[0007] 本文描述的系统、设备和方法不应以任何方式解释为限制性的。相反，本公开涉及各种公开的实施例（单独的所述实施例以及所述实施例彼此的各种组合和子组合）的所有新颖和非显而易见的特征和方面。公开的系统、方法和设备不限于任何具体方面或特征或其组合，并且公开的系统、方法和设备也不要求存在任何一个或多个具体优点或解决问题。任何操作理论都是为了便于解释，但是公开的系统、方法和设备不限于这类操作理论。

[0008] 虽然为了便于呈现而以特定的顺序次序来描述所公开方法中的一些的操作，但应理解，除非下文所阐述的具体语言要求特定排序，否则这种描述方式涵盖重新布置。举例来说，在一些情况下，可重新布置或同时执行依序描述的操作。此外，为简明起见，附图可不示出公开的系统、方法和设备可与其它系统、方法和设备结合使用的各种方式。另外，本说明书有时使用像“产生”和“提供”的术语来描述公开的方法。这些术语是所执行的实际操作的高级抽象。对应于这些术语的实际操作将取决于特定实施方案而变化，并且易于由本领域普通技术人员辨别。

[0009] 在一些实例中，值、过程或设备被称为“最低”、“最佳”、“最小”等。应了解，这类描述旨在指示可在许多使用的功能替代方案当中进行选择，并且这类选择不需要更好、更小或以其它方式优先于其它选择。

[0010] 带电粒子显微术是一种公知且日益重要的微观物体成像技术，特别是以电子显微

术的形式。从历史上看,电子显微镜的基本属经历了向许多公知设备种类的转型,如透射电子显微镜(TEM)、扫描电子显微镜(SEM)、以及扫描透射电子显微镜(STEM),并且还向各种亚种转型,如所谓的“双射束”设备(如FIB-SEM),其另外还采用“加工”聚焦离子射束(FIB),允许支持活动,例如离子束铣削或离子射束诱导沉积(IBID)。

[0011] 在SEM中,通过扫描电子射束辐照样品促使例如呈二次电子、反向散射电子、X射线和阴极发光(红外、可见和/或紫外光子)形式的“辅助”辐射从样品中发出;然后,检测此发出的辐射的一个或多个分量并将其用于图像累积目的。

[0012] 在TEM中,用于辐照样品的电子射束被选择为具有足够高的能量来穿透样品(为此目的,样品通常将比SEM样品的情况更薄);然后,可使用从样品中发出的透射电子来创建图像。当这类TEM以扫描模式操作(因此成为STEM)时,所讨论的图像将在辐照电子射束在样品上的扫描运动期间累积。作为使用电子作为辐照射束的替代方案,也可使用其它种类的带电粒子执行带电粒子显微术。在这方面,短语“带电粒子”应该广义地解释为涵盖例如电子、正离子(例如Ga或He离子)、负离子、质子和正电子。

[0013] 应当注意的是,除了成像和执行(局部)表面改性(例如,铣削、蚀刻、沉积等)之外,带电粒子显微镜还可具有其它功能,如执行光谱检查、检查衍射图等。

[0014] 在所有情况下,带电粒子显微镜(CPM)将至少包含以下部件:

[0015] 粒子源,如肖特基电子源或离子源。

[0016] 照明器(带电粒子射束柱),其用于操控来自源的“原始”辐射射束并对其执行操作,如聚焦、像差抑制、裁剪(用膜片)、过滤等。它一般将包含一个或多个(带电粒子)透镜,并且还可包含其它类型的(粒子)光学部件。如果需要,照明器可经提供具有偏转器系统,所述偏转器系统可使出射射束在被研究的样品上执行扫描运动。

[0017] 样品固持器,可在所述样品固持器上固持并定位(例如,倾斜、旋转)所研究的样品。如果需要,所述固持器可移动,以实现样品相对于射束的扫描运动。一般来说,这类样品固持器将连接到定位系统。当设计用于固持低温样品时,样品固持器可包含用于将所述样品维持在低温温度下的器件,例如,使用适当连接的冷冻剂桶。

[0018] 检测器(用于检测从被辐照的样品发出的辐射),其本质上可以是单一的或复合的/分布的,并且其可采取许多不同的形式,这取决于被检测到的辐射。实例包括光电二极管、CMOS检测器、CCD检测器、光伏电池、X射线检测器(如硅漂移检测器和Si(Li)检测器)等。一般来说,CPM可包含若干种不同类型的检测器,其选择可在不同情况下被调用。

[0019] 在透射类型显微镜(例如(S)TEM)的情况下,CPM将另外包含:

[0020] 成像系统,其基本上带有通过样品(平面)传输的带电粒子并将它们引导(聚焦)到分析设备上,如检测/成像装置、光谱设备(如EELS装置:EELS=电子能量损失能谱学)等。与上面提到的照明器一样,成像系统还可执行其它功能,如像差抑制、裁剪、过滤等,并且其通常包含一个或多个带电粒子透镜和/或其它类型的粒子光学部件。

[0021] 在下文中,本文公开的技术可例如有时在电子显微术的具体背景下阐述;然而,这类设置仅旨在用于清楚/说明目的,并且不应解释为限制性的。

[0022] STEM是常规TEM的一种强大的操作模式,由此在薄样品上扫描聚焦电子射束,并且然后收集具有不同散射角的透射/散射电子并将其转换为图像。根据透射电子的散射角,如果散射停留在射束开度角内,则它们可生成“亮场(BF)”信号;如果散射角大于射束开度角,

则它们可生成“暗场(DF)”信号。随着新成像技术的最近发展(由当前受让人),所述成像技术可称为积分微分相位对比(iDPC)成像:例如,参见US 9,312,098和US 2016/0307729 A1(通过全文引用的方式并出于所有目的并入本文),STEM作为成像方法已引起了新的兴趣。然而,对于某些应用,STEM技术的吞吐量可能不是最佳的。原因之一是,在高分辨率STEM中,由于透镜像差和库仑相互作用,探针/输入射束流趋于受到限制。此外,视场(FoV)趋于受到成像系统离轴像差的限制。随着对吞吐量的要求变得越来越具有挑战性,这类STEM缺陷变得越来越令人沮丧。

[0023] 本公开的目的是至少解决以上识别的问题。更具体地,本公开的目的是描述与现有的基于STCPM的成像技术相比允许改进的吞吐量的基于STCPM的成像技术。此外,本公开的目的是相对于常规技术,本文公开的技术应具有增加的FoV。

[0024] 在以下情况下,可在显微镜中实现这些和其它目的:

[0025] 显微镜被配置为产生多个所述带电粒子射束,并且同时将这些辐照到所述样品的不同区上;和

[0026] 在所述成像系统的后焦平面(BFP)和成像平面(IP)之间的检测器平面中,安置有用于检测穿过样品后的所述多个带电粒子射束的检测器,其中检测器平面位于足以提供确定和检测多个带电粒子射束中的每个射束的质心的位置。

[0027] 应当注意,检测器可以是用于多个带电粒子射束中的每个的单独的独立检测器模块(例如,多个检测器模块),或检测器可以是例如在检测器的不同区域处检测带电粒子射束中的每个的大、复合检测器。

[0028] 本文公开的技术通过使用多个探针/输入射束实现并行处理的形式解决了STEM的吞吐量问题:将样品的呈现表面基本上细分为概念性“小块/区/区域”的矩阵,并且这些小块/区/区域中的每一个同时由多个射束中的相应的一个进行成像,因此增加了累积FoV并增加了吞吐量。然而,在这类架构中,在从相应的输入射束同时检测STEM信号中的各个方面出现问题。应用“常规”衍射图案检测方法失败,因为来自多个射束的信号在传统上(实际或虚拟)检测器/相机将位于的所采用的成像系统(物镜)的衍射平面(在本文中也称为BFP)处重叠,因此不可能将不同信号与不同射束分离。另一方面,在成像系统的IP中使用检测器几乎没有意义,因为一个检测器基本上只会在所述位置处形成(不重叠)探针图像,并且只可检测所述位置处的探针(一个或多个)的强度。只能检测探针图像的强度无法确定质心。

[0029] 相反,本公开的技术采取将检测器(一个或多个)定位在位于成像系统的BFP和IP之间的中间检测器平面处的反直觉的步骤。在此中间检测器平面中,源自多个输入射束的输出射束将彼此分离,从而允许对其进行离散检测;然而,在此位置配准的图案本质上是衍射图案和探针图像之间的混合体(有点类似于真实图像的部分傅里叶变换/菲涅耳传播),因此常规地对配准图案的物理解释将被认为具有挑战性。然而,已经发现这类混合图案可例如通过上述iDPC技术用于形成令人满意的图像。

[0030] 一般来说,已经证明,每个图案的强度质心(从样品中出射的每个射束的“质量”中心或空间中心)的位置与相关联射束在它穿过样品期间经受的局部电场电势成比例。结果,只要可确定其强度质心,图案代表什么或看起来如何都无关紧要。换句话说,无论每个图案看起来如何,它都会保留角度信息(通过其质心的位置),所述角度信息可用作图像信息的基础。如果使用位置敏感的检测器(如像素化或分段的检测器/相机)配准图案,则可使用例

如图像识别软件相对容易地定位其质心。注意,这类位置敏感的检测器处于微分相位对比(DPC)技术的核心,所述技术从射束覆盖区从零位/参考位置位移(在检测器的检测表面上)的方式(例如,射束在四个或更多个检测器象限/区段/区域之间(不对称)划分的方式)中获取信息。前述的iDPC技术通过将来自这类检测器的输出转换为矢量场并对其执行数学积分步骤而进一步前行;因此,iDPC技术也称为iVF(积分矢量场)成像。

[0031] 关于输入射束和样品的相对扫描运动,存在可实现其的多种不同方式。举例来说:

[0032] (i) 在一种可能的(“机械扫描”)设定中,所采用的扫描组件包含用于产生样品固持器的扫描运动的致动器系统。

[0033] (ii) 在替代(“射束扫描”)设定中,使射束相对于样品进行扫描。为此,例如,在样品上游调用第一射束偏转器系统,以产生所述多个射束相对于样品的扫描运动;并且样品下游和所述检测器平面上游的第二射束偏转器系统用于使所述第一射束偏转器系统产生的扫描运动无效。

[0034] 方法(i)的优点在于,尽管其将需要使用能够精确穿越扫描路径的样品固持器平台,它比方法(ii)的复杂度/复合程度低;因为复杂的扫描阶段已经在如光刻的领域中使用,并且在许多不同的实施方案中可用,所以这不必呈现技术上的障碍。射束扫描是在单射束CPM(如SEM和STEM)中使用的更传统的方法,尽管当前公开内容可需要对多个射束进行修改。毋庸置疑,如果需要,也可实施方法(i)和(ii)的混合体,其中采用两种类型的扫描。注意,当将方法(ii)与不位于成像系统的衍射平面中的检测器一起使用时,扫描输入射束将导致输出射束的伴随扫描运动落在检测器上。如果在未将样品就位的情况下执行参考“零测量”,则可从将样品就位的情况下获得的检测结果中减去这种“基线”扫描效果。

[0035] 关于本文公开的技术中使用的输入射束的数量,应该强调的是,这是任意的。一方面,射束数量越多,可以实现的吞吐量增强越大;另一方面,更多数量的射束将增加整个系统的复杂性。技术人员将能够在这些竞争效果之间找到折衷方案,并选择适合于给定情境/用例的数量。举例来说,可使用 14×14 阵列中的196个射束构建系统-尽管许多其它射束多个/配置也是可能的。

[0036] 本领域技术人员还将理解,如果将本发明中使用的检测器平面选择得太靠近成像系统的BFP,则对应于各种输入射束的图案可能不会充分地彼此分开以区分各种射束的质心。另一方面,如果将检测器平面选择得太靠近成像系统的IP,则输入射束的射束路径将非常充分地彼此分开,但是配准的“图案”将趋向于基本的探测图像,因此不可能确定它们相应的质心的位置和平移,这可能导致本文所公开的技术不可实施。在这些极端情况之间,技术人员将能够很好地选择适当的探测器平面位置。

[0037] 图1是其中可实施所公开的技术的STCPM M的实施例的高度示意性描绘;更具体地,其示出了TEM/STEM的实施例(但是,在本公开的上下文中,其可有效地例如是基于离子的显微镜)。在图1中,在真空外壳2内,电子源4产生电子射束B,所述电子射束B沿着电子光学轴线B'传播并横穿电子光学照明器(带电粒子射束柱)6,从而用于将电子引导/聚焦到样品S的选定部分上(例如,可(局部地)薄化/平面化)。还描绘了偏转器8,其(尤其)可用于实现电子射束B的扫描运动。

[0038] 将样品S固持在样品固持器H上,所述样品固持器H可通过定位装置/平台A以多个自由度定位,所述定位装置/平台A移动固持器H(可拆卸地)固定在其中的托架A';例如,样

品固持器H可包含可(尤其)在XY平面中移动的指部(参见所描绘的笛卡尔坐标系;通常,平行于Z的运动和关于X/Y的倾斜也是可能的)。这类移动允许样品S的不同部分被沿着轴线B'(在Z方向上)行进的电子射束B照射/成像/检查,和/或允许执行扫描运动来作为射束扫描的替代方案。如果需要,可将(未描绘的)任选冷却装置与样品固持器H进行密切的热接触,以便例如在低温下维护它(以及其上的样品S)。

[0039] 电子射束B将与样品S相互作用,使得各种类型的“受激”辐射从样品S发出,包括(例如)二次电子、反向散射电子、X射线和光学辐射(阴极发光)。如果需要,可借助于分析装置22检测这些辐射类型中的一种或多种,所述分析装置22可以是例如组合的闪烁器/光电倍增管或EDX(能量分散X射线光谱仪)模块;在这类情况下,可使用与SEM中基本相同的原理构建图像。然而,替代地或补充地,可研究横穿(通过)样品S,从其离开/发出并继续沿着轴线B'传播(基本上,尽管通常具有一些偏转/散射)的电子。这类透射电子通量进入成像系统(投影透镜)24,所述成像系统通常包含各种静电/磁透镜、偏转器、校正器(如补偿器)等。在正常(非扫描)TEM模式下,此成像系统24可将透射的电子通量聚焦到荧光屏26上,如果需要,所述荧光屏可缩回/撤回(如箭头26'示意性指示),以使其远离轴线B'。通过屏幕26上的成像系统24将形成样品S的(一部分)的图像(或衍射图),并且这可通过位于外壳2的壁的适当部分中的观察端口28来查看。用于屏幕26的缩回机构可以例如本质上是机械的和/或电气的,并且在本文中未描绘。

[0040] 作为在屏幕26上查看图像的替代方案,可代替地利用离开成像系统24的电子通量的聚焦深度通常非常大(例如,约1米)的事实。因此,可在屏幕26的下游使用各种其它类型的分析设备,如:

[0041] TEM相机30。在TEM相机30处,电子通量可形成静态图像(或衍射图),其可由控制器/处理器20处理,并且显示在显示装置(未描绘)(例如,平板显示器)上。当不需要时,可将TEM相机30缩回/撤回(如箭头30'所示意性指示),以使它远离轴线B'。

[0042] STEM相机32。来自STEM相机32的输出可被记录为射束B在样品S上的(X,Y)扫描位置的函数,并且可构造图像,所述图像是作为X,Y的函数的来自STEM相机32的输出的“图”。与TEM相机30中特征性地存在的像素矩阵相反,STEM相机32可包含直径为例如20 mm的单个像素。此外,STEM相机32通常将具有比TEM相机30(例如,每秒 10^2 个图像)高得多的采集速率(例如,每秒 10^6 个点)。同样,在不需要的情况下,可将STEM相机32缩回/撤回(如箭头32'所示意性指示),以使其远离轴线B'(尽管这类缩回在例如环形暗场STEM相机32的情况下不是必须的;在这类相机中,当相机未使用时,中心孔将允许通量通道)。

[0043] 作为使用相机30或32成像的替代方案,还可调用光谱设备34,其例如可以是EELS模块。

[0044] 应当注意,物品30、32以及34的顺序/位置不严格,并且可想到许多可能的变化。举例来说,光谱设备34还可集成到成像系统24中。

[0045] 注意,控制器(计算机处理器)20通过控制线(总线)20'连接到各种所示出的组件。此控制器20可提供多种功能,如同步动作、提供设定值、处理信号、执行计算以及在显示装置(未描绘)上显示消息/信息。毋庸置疑,(示意性地描绘的)控制器20可(部分地)在外壳2的内部或外部,并且可根据需要具有整体或复合结构。

[0046] 技术人员将理解,外壳2的内部不必保持严格的真空;例如,在所谓的“环境TEM/

STEM”中,在外壳2内有意地引入/维持给定气体的背景气氛。技术人员还将理解,在实践中,限制外壳2的体积以使其在可能的情况下基本上围绕轴线B’可能是有利的,采用所用电子射束通过其中的小管形式(例如,直径为约1 cm),但是加宽以容纳如光源4、样品固持器H、屏幕26、TEM相机30、STEM相机32、光谱设备34等结构。

[0047] 在本公开的上下文中,例如通过使用合适的孔板(未描绘)将(原始)射束B细分为多个(产品)子射束,将多个带电粒子射束引导到样品S的相应区上。图2示出了这类情况的实例,其中:

[0048] 图的左侧部分是根据本公开的图1的相关部分的概略正视图,其被修改以产生多个射束。

[0049] 图的右侧部分示出了沿Z轴线在选定的粒子光学平面上的多射束截面的平面图。

[0050] 在此特定实例中,多射束架构使用以方形四极配置布置的四个输入射束(B₁,B₂,B₃,B₄);然而,这不是必须的,并且可实施并且在本文中考虑到射束的不同数量和/或几何布置。现在转到图2的各个部分:

[0051] OP是物镜(成像系统)OL的物平面。在平面OP处,每个聚焦的输入射束将具有点或小圆盘形式的截面,如图的右侧的子绘图(B)所示。将要成像的样品S安置在此平面OP上,并在图2右侧的子绘图(S)中示意性示出。如图所示,样品S在概念上被细分为四个区域(S₁,S₂,S₃,S₄),以分别由对应的射束(B₁,B₂,B₃,B₄)成像。样品S通常将是不均匀的,因此区域(S₁,S₂,S₃,S₄)看起来将彼此不同。

[0052] BFP是物镜OL的后焦平面。注意,在此平面中,射束(B₁,B₂,B₃,B₄)具有重叠的路径,因此射束中的每个所携带的图案化信息也将重叠并且重合在同一位置上,如在图的右侧通过大的中央“斑点”示出。通过焦距f将平面BFP与物镜OL分离。在沿着Z的此位置,由于射束B1、B2、B3和B4的重叠,每个射束B1、B2、B3和B4的质心将无法单独辨别,因此,如果在此处定位检测器,则本文公开的技术可能不适用。

[0053] IP是物镜OL的图像平面。在平面IP中,类似于平面OP中的情况,射束(B₁,B₂,B₃,B₄)中的每个聚焦到点/小圆盘上。类似地,在沿着Z的此位置,由于探针图像的构成(例如点/小圆盘),每个射束B1、B2、B3和B4的质心将无法单独辨别,因此本文公开的技术可能不适用。

[0054] DP是根据本公开的(沿着Z)安置在平面BFP和IP之间的中间检测器平面。DP从平面BFP位移了量ΔZ。在此平面DP中,射束(B₁,B₂,B₃,B₄)将相互分开-在图2的右下图中以四个不同的图案示出,所述图案可由对应的多个分量检测器单独配准,所述分量检测器的检测表面安置在平面DP中;注意,如上所述,这些分量检测器实际上可以是单个复合检测表面的不同区,例如,如相机中呈现的。在每个检测到的图案中,可识别强度质心,并将其位置用于构建(例如)样品S的iPDC图像。在非限制性实例中,平面DP位于与一个位置相对应的Z-位置处,在所述位置处,两个相邻射束的BF圆盘(在BFP中具有明确限定的大小)之间的距离大约等于BF(亮场)圆盘半径(R_{BF})的两倍,从而相邻的质心在X或Y中分开4*R_{BF}的距离。

[0055] 已经参考示出的实施例描述和示出了所公开技术的原理,将认识到,可在不脱离这类原理的情况下在布置和细节上修改示出的实施例。例如,以软件示出的所示实施例的元件可以硬件实施,反之亦然。此外,来自任何实例的技术可与在其它实例中的一个或多个中描述的技术组合。将了解,如参照所示出的实例所描述的过程和功能可在单个硬件或软件模块中实施,或可提供单独的模块。上面的特定布置是为了方便说明而提供的,并且可使

用其它布置。

[0056] 鉴于可应用所公开技术的原理的许多可能的实施例,应当认识到,所示出的实施例仅是代表性实例,并且不应被视为限制本公开的范围。这些部分中具体解决的替代方案仅是实例性的,并不构成本文所述实施例的所有可能替代方案。例如,本文描述的系统的各种部件可在功能和用途上组合。因此,我们主张所有皆在所附权利要求书的范围内。

[0057] 在一个实施例中,一种扫描透射带电粒子显微镜包含带电粒子射束柱,所述带电粒子射束柱用于产生多个带电粒子射束,并用多个带电粒子射束中的每个辐照样品;扫描组件,所述扫描组件用于产生多个带电粒子射束相对于样品的相对扫描运动;和成像系统,所述成像系统用于收集在所述辐照期间横穿样品的多个带电粒子射束中的每个带电粒子射束的带电粒子,并且在横穿样品之后将多个带电粒子射束中的每个带电粒子射束引导到检测器上,其中多个带电粒子射束中的每个带电粒子射束均包括质心,并且其中检测器安置在成像系统的后焦平面与成像平面之间的中间位置,所述中间位置由多个带电粒子射束的重合位置和每个带电粒子射束的质心不再可区分的位置来界定。在所述显微镜的第一实例中,显微镜进一步包括,其中检测器选自包含亮场检测器、暗场检测器、位置敏感检测器及其组合的组。所述方法的第二实例任选地包括第一实例,并且进一步包括,其中检测器是位置敏感检测器;并且显微镜中包括的控制器被配置为:基于来自所述位置敏感检测器的输出生成矢量场;并且将二维积分运算应用于所述矢量场。显微镜的第三实例任选地包括第一实例和第二实例中的一个或多个,并且进一步包括,其中所述扫描组件包含用于产生样品固持器的扫描运动的致动器系统。显微镜的第四实例任选地包括第一实例和第三实例中的一个或多个,并且进一步包括,其中所述扫描组件包含在样品的上游的第一射束偏转器系统,其用于产生所述多个射束的扫描运动;和在样品的下游和在所述检测器平面的上游的第二射束偏转器系统,其用于使由所述第一射束偏转器系统产生的扫描运动无效。显微镜的第五实例任选地包括第一实例和第四实例中的一个或多个,并且进一步包括,其中通过将原始带电粒子射束引导到在原始射束的覆盖区内具有多个开口的孔板上来生成所述多个带电粒子射束。显微镜的第六实例任选地包括第一实例和第五实例中的一个或多个,并且进一步包括,其中所述多个带电粒子射束由多个带电粒子射束柱产生。显微镜的第七实例任选地包括第一实例和第六实例中的一个或多个,并且进一步包括,其中中间平面被定位成使得多个带电粒子射束的相邻质心在中间平面中相隔带电粒子射束的轮廓的直径的至少两倍。显微镜的第八实例任选地包括第一实例和第七实例中的一个或多个,并且进一步包括,其中中间平面进一步在后焦平面方向上由多个带电粒子射束从重合位置处充分出射的位置界定,使得可单独检测单个带电粒子射束及其相应的质心。显微镜的第九实例任选地包括第一实例和第八实例中的一个或多个,并且进一步包括,其中中间平面在成像平面方向上进一步由多个带电粒子射束中的每个的质心仍可检测的位置界定。显微镜的第十实例任选地包括第一实例和第九实例中的一个或多个,并且进一步包括,其中中间平面在成像平面方向上进一步由多个带电粒子射束中的每个的质心仍可检测的位置界定。

[0058] 在另一个实施例中,一种使用扫描透射带电粒子显微镜的方法包含同时用多个带电粒子射束辐照样品,其中多个带电粒子射束中的每个带电粒子射束辐照样品的相应区;使带电粒子射束相对于样品进行扫描;收集在所述辐照期间横穿样品的带电粒子,并将收集的带电粒子引导到检测器上,其中检测器安置在成像系统的后焦平面和成像平面之间的

检测器平面中，并且其中中间位置由多个带电粒子射束的重合位置和每个带电粒子射束的质心不再可区分的位置界定。在所述方法的第一实例中，所述方法进一步包括，其中中间位置被定位成使得多个带电粒子射束中的至少两个相邻的带电粒子射束的亮场圆盘相隔亮场圆盘半径的两倍的距离。

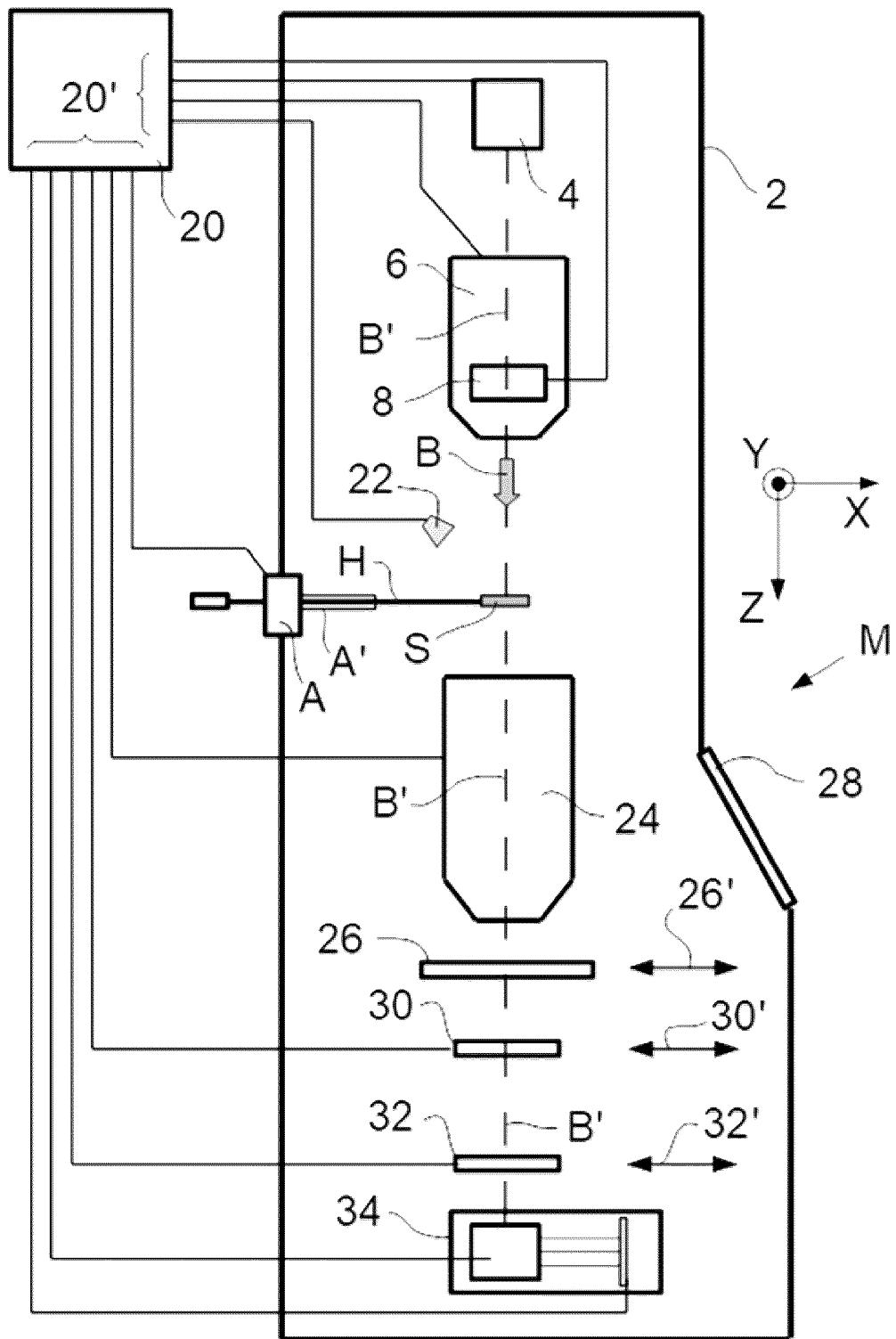


图 1

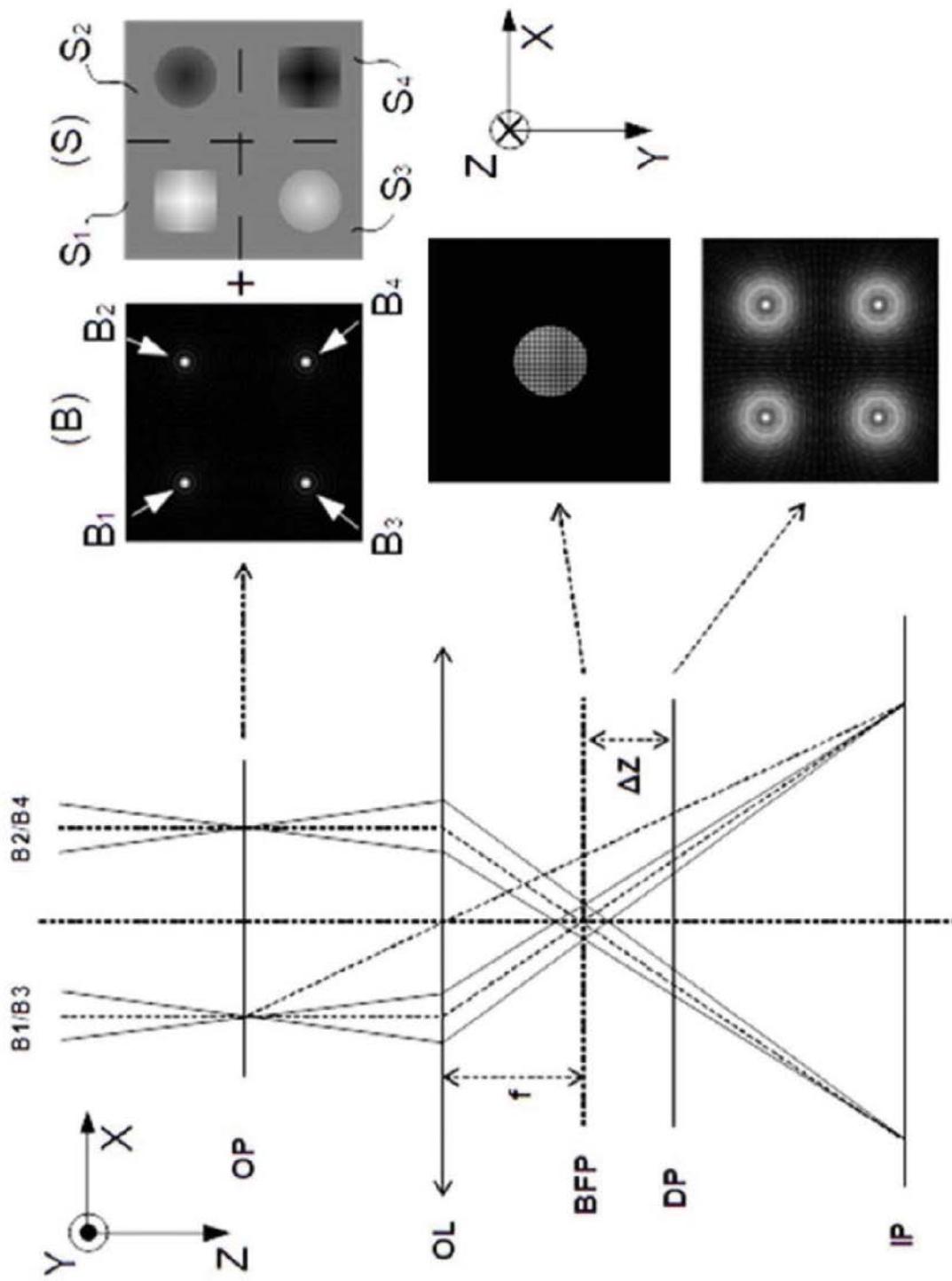


图 2