



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105261544 B

(45)授权公告日 2017.08.18

(21)申请号 201510403896.2

(22)申请日 2015.07.10

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105261544 A

(43)申请公布日 2016.01.20

(30)优先权数据

14176529.7 2014.07.10 EP

(73)专利权人 FEI 公司

地址 美国俄勒冈州

(72)发明人 M.T.奥特坦 A.A.M.科克

M.维海詹

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 申屠伟进 陈岚

(51)Int.Cl.

H01J 37/28(2006.01)

H01J 37/26(2006.01)

(56)对比文件

US 2014054458 A1, 2014.02.27,

US 6807314 B1, 2004.10.19,

US 2006038125 A1, 2006.02.23,

JP 2009016181 A, 2009.01.22,

US 2008093551 A1, 2008.04.24,

CN 103065917 A, 2013.04.24,

审查员 叶颖惠

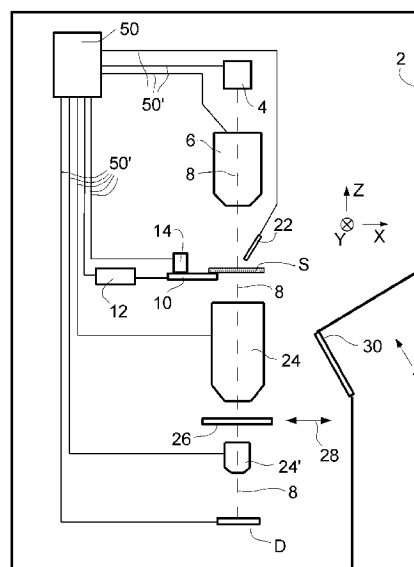
权利要求书2页 说明书9页 附图2页

(54)发明名称

校准扫描透射带电粒子显微镜的方法

(57)摘要

一种校准扫描透射带电粒子显微镜的方法，显微镜能够被操作于：非扫描模式，在此模式，射束相对较粗并且检测器在不调用扫描装置的情况下形成图像；或扫描模式，在此模式，所述射束相对较细并且所述检测器积累作为所述射束的扫描位置的函数的图像，方法包括下面的步骤：在标本支架上提供校准标本；在非扫描模式下，使用成像系统的给定配置，使用所述检测器形成校准标本的校准图像；使用所述校准标本的已知尺度并且将它与所述校准图像中的对应尺度进行比较以校准所述检测器的视场的特性尺度；在扫描模式下，在所述检测器的经校准的视场中记录所述射束的射束图案，并且检查所记录的射束图案以获得其几何方面。



1. 一种校准扫描透射带电粒子显微镜的方法,所述扫描透射带电粒子显微镜包括:
标本支架,用于支撑标本;
源,用于产生带电粒子的射束;
照明器,用于引导所述射束以照射标本;
成像系统,用于将穿越标本的带电粒子引导到检测器上;
扫描装置,用于使所述射束相对于标本的表面经受扫描运动,
所述显微镜能够被操作于:

非扫描模式,在该模式,所述射束相对较粗并且所述检测器在不调用所述扫描装置的情况下形成图像;或

扫描模式,在该模式,所述射束相对较细并且所述检测器积累作为所述射束的扫描位置的函数的图像,

所述校准方法包括:

在所述标本支架上提供校准标本;

在非扫描模式下,使用所述成像系统的给定配置,使用所述检测器形成校准标本的校准图像;

使用所述校准标本的已知尺度并且将它与所述校准图像中的对应尺度进行比较以校准所述检测器的视场的特性尺度;

在扫描模式下,在所述检测器的经校准的视场中记录所述射束的射束图案,并且检查所记录的射束图案以获得其几何参数。

2. 如权利要求1所述的方法,其中从包括像素尺寸、边长、对角线长度、直径、场标记的尺度及其组合的组选择所述检测器的视场的所述特性尺度。

3. 如权利要求1所述的方法,其中:

所述射束图案包括沿给定方向的线性区域;

所述几何参数是所述线性区域的长度。

4. 如权利要求1所述的方法,其中:

所述射束图案包括沿第一方向的第一线性区域和沿第二方向的第二线性区域;

从包括下面各项的组选择所述几何参数:

所述第一和第二线性区域的长度比;

所述第一和第二线性区域之间的角度。

5. 如权利要求1所述的方法,其中:

所述射束图案包括布置在所述经校准的视场中的不同坐标位置处的测试图形的阵列;

所述几何参数是作为所述视场中的位置的函数测量的失真。

6. 如权利要求5所述的方法,其中从包括移动、旋转、缩放、剪切、歪斜及其组合的组选择所述失真。

7. 如权利要求1所述的方法,其中所述校准标本包括晶体,并且所述已知尺度是晶体的晶格长度。

8. 一种带电粒子显微镜,包括:

标本支架,用于支撑标本;

源,用于产生带电粒子的射束;

照明器,用于引导所述射束以照射标本;

成像系统,用于将穿越标本的带电粒子引导到检测器上;

扫描装置,用于使所述射束相对于标本的表面经受扫描运动,

控制器,用于执行控制命令,

所述显微镜能够被操作于:

非扫描模式,在该模式,所述射束相对较粗并且所述检测器在不调用所述扫描装置的情况下形成图像;或

扫描模式,在该模式,所述射束相对较细并且所述检测器积累作为所述射束的扫描位置的函数的图像;以及

其中所述控制器被编程为执行下面的步骤:

在非扫描模式下,使用所述成像系统的给定配置,使用所述检测器形成校准标本的校准图像;

使用所述校准标本的已知尺度并且将它与所述校准图像中的对应尺度进行比较以校准所述检测器的视场的特性尺度;

在扫描模式下,在所述检测器的经校准的视场中记录所述射束的射束图案,并且检查所记录的射束图案以获得其几何参数。

9. 如权利要求8所述的带电粒子显微镜,其中所述射束图案包括布置在所述经校准的视场中的不同坐标位置处的测试图形的阵列;并且

所述几何参数是作为所述视场中的位置的函数测量的失真。

10. 如权利要求9所述的带电粒子显微镜,其中从包括移动、旋转、缩放、剪切、歪斜及其组合的组选择所述失真。

11. 如权利要求8所述的带电粒子显微镜,其中所述校准标本包括晶体,并且所述已知尺度是晶体的晶格长度。

12. 如权利要求8所述的带电粒子显微镜,其中所述射束图案包括沿给定方向的线性区域;并且

所述几何参数是所述线性区域的长度。

13. 如权利要求8所述的带电粒子显微镜,其中所述射束图案包括沿第一方向的第一线性区域和沿第二方向的第二线性区域,从包括下面各项的组选择所述几何参数:

所述第一和第二线性区域的长度比;以及

所述第一和第二线性区域之间的角度。

14. 如权利要求8所述的带电粒子显微镜,其中从包括像素尺寸、边长、对角线长度、直径、场标记的尺度及其组合的组选择所述检测器的视场的所述特性尺度。

校准扫描透射带电粒子显微镜的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种校准扫描透射带电粒子显微镜的方法,所述显微镜包括:

[0002] -标本支架,用于支撑标本;

[0003] -源,用于产生带电粒子的射束;

[0004] -照明器,用于引导所述射束以照射标本;

[0005] -成像系统,用于将穿越标本的带电粒子引导到检测器上;

[0006] -扫描装置,用于使所述射束相对于标本的表面经受扫描运动,

[0007] 所述显微镜能够被操作于:

[0008] -非扫描模式,在该模式所述射束相对较粗并且所述检测器在不调用所述扫描装置的情况下形成图像;或

[0009] -扫描模式,在该模式所述射束相对较细并且所述检测器积累作为所述射束的扫描位置的函数的图像。

[0010] 本发明还涉及一种能够在其中执行这种方法的带电粒子显微镜。这种显微镜的例子是根据本发明以某种方式实现/使用的具有STEM功能的TEM(参见以下)。

背景技术

[0011] 带电粒子显微镜检查是公知的并且日益重要的用于特别地以电子显微镜检查的形式对微观物体成像的技术。在历史上,例如,电子显微镜的基本种类已经历演进成为许多公知的设备种类(诸如,透射电子显微镜(TEM)、扫描电子显微镜(SEM)和扫描透射电子显微镜(STEM)),并且还演进成为各种子种类,诸如,所谓的“双射束”工具(例如,FIB-SEM),所述“双射束”工具另外采用“机加工”聚焦离子束(FIB),从而允许支持性活动(诸如,离子束铣削或离子束诱导沉积(IBID))。更具体地讲:

[0012] -在SEM中,例如,由扫描电子束执行的对标本的照射导致以二次电子、反向散射电子、X射线和光致发光(红外、可见和/或紫外光子)的形式从标本发出“辅助”辐射;发出的辐射的这个通量的一个或多个分量随后被检测并且用于图像积累目的。

[0013] -在TEM中,用于照射标本的电子束被选择为具有足够高的能量以穿透标本(为此,与SEM标本的情况相比,该标本通常将会更薄);从标本发出的透射电子的通量能够随后被用于创建图像。当在扫描模式下操作这种TEM(因此,变为STEM)时,将会在照射电子束的扫描运动期间积累正在讨论的图像。

[0014] 能够例如从下面的维基百科链接收集关于这里解释的一些主题的更多信息:

[0015] http://en.wikipedia.org/wiki/Electron_microscope

[0016] http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_electron_microscope

[0017] http://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_electron_microscopy

[0018] http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_transmission_electron_microscopy。

[0019] 作为使用电子作为照射射束的替代方案,还能够使用其它种类的带电粒子执行带

电粒子显微镜检查。在这个方面,短语“带电粒子”应该被宽广地解释为包括例如电子、正离子(例如,Ga或He离子)、负离子、质子和正电子。关于基于离子的显微镜检查,能够例如从诸如下面的源收集一些另外的信息:

[0020] http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_Helium_Ion_Microscope

[0021] - W.H. Escovitz, T.R. Fox and R. Levi-Setti, Scanning Transmission Ion Microscope with a Field Ion Source, Proc. Nat. Acad. Sci. USA 72(5), pp 1826-1828 (1975)。

[0022] 应该注意的是,除了成像之外,带电粒子显微镜(CPM)还可具有其它功能,诸如执行光谱分析、检查衍射图、执行(局部化)表面改性(例如,铣削、蚀刻、沉积)等。

[0023] 在所有情况下,扫描透射带电粒子显微镜(STCPM)将会包括至少下面的部件:

[0024] -辐射源,诸如肖特基电子源或离子枪。

[0025] -照明器,用于操纵来自源的“原始”辐射射束并且对其执行某些操作,诸如聚焦、像差减轻、修剪(利用孔隙)、滤波等。它将会通常包括一个或多个带电粒子透镜,并且也可包括其它类型的粒子光学部件。如果期望,照明器能够被提供有偏转器系统,该偏转器系统能够被调用以使它的输出射束跨正在研究的标本执行扫描运动。

[0026] -标本支架,能够在该标本支架上支撑和定位(例如,倾斜、旋转)正在研究的标本。如果期望,这个支架能够移动以相对于标本执行射束的预期扫描运动。通常,这种标本支架将会被连接到定位系统(诸如,机械台)。

[0027] -成像系统,基本上接收透射通过标本(平面)的带电粒子并且将它们引导(聚焦)到所采用的检测器上。与以上提及的照明器一样,该成像系统还可执行其它功能,诸如,像差减轻、修剪、滤波等,并且它将会通常包括一个或多个带电粒子透镜和/或其它类型的粒子光学部件。

[0028] -检测器,根据正在检测的辐射,检测器可在本质上是一体的或复合/分布式的,并且能够采用许多不同形式。例子包括可例如结合例如闪烁器膜使用的光电倍增器(包括固态光电倍增器、SSPM)、光电二极管、CMOS检测器、CCD检测器、光伏电池等。

[0029] 在下面,作为例子,可有时在电子显微镜检查的特定情况下阐述本发明。然而,这种简化仅为了清楚/说明性目的,并且不应该被解释为是限制性的。

[0030] 当使用STCPM观察标本时,人们通常不仅对标本中的某些特征的存在/结构感兴趣(定性研究),还对它们的尺寸感兴趣(定量研究/计量)。为此,通常将会需要执行某种校准例程,所述某种校准例程允许确定的/准确的尺度被分派给某些特征。这种例程将会通常涉及使用某个类型的校准标本,所述校准标本包含已知/规定的尺度的标准/参考结构(诸如,网格/阵列)。然而,虽然这听起来相对比较简单易懂,但这种校准过程可能在实际情况下存在问题,并且可产生具有较差准确性水平的次佳结果。这可能是由于各种原因所导致,诸如下面的原因:

[0031] -能够使用的一个类型的校准标本是所谓的“交叉光栅”,所述交叉光栅包括处于几微米的数量级的相互间隔的重复结构的网格。这种微米标度使得这种光栅适合相对较低放大率的校准(例如,按照至少一个网格单元在所采用的检测器的视场(FOV)的宽度内适合的放大率),但它不适合用在相对较高放大率(较小FOV)。此外,这种光栅中的网格尺度通常未被确认,因此在校准过程中引起相对较大的误差容限/不确定性。

[0032] -在这个后一方面中,更合适的校准标本包括晶体样本,在所述晶体样本中,原子或分子按照规则的矩阵以明确的晶格间隔布置。虽然这种标本的特性尺度(晶格长度/间距/常数)通常被确认为具有高准确性,但它通常仅适用于相对较高放大率的应用(例如,用于像素尺寸小于晶格间隔的一半的FOV)。

[0033] -当在扫描模式下使用STCPM时,存在需要记住的特定考虑因素。虽然可能可以如以上所讨论的那样使用晶体参考标本在这种STCPM的高放大率限制(小FOV)下校准这种STCPM,但对于STCPM的更常见的操作放大率范围的外推(大FOV)将会通常涉及跨几个数量级的标度,这对可获得的准确性具有相应负面的影响,特别是由于作为特性而存在于任何扫描类型显微镜中(其操作原理所固有的)的漂移效果。

发明内容

[0034] 本发明的目的在于解决这些问题。特别地,本发明的目的在于提供一种以比由现有技术提供的方式更准确的方式来校准STCPM的方法。更具体地讲,本发明的目的在于,在所述方法中,由于标度和漂移导致的上述误差问题应该得到减轻。

[0035] 在如前面开头段落中所阐述的方法中实现这些和其它目的,所述方法的特征在于下面的步骤:

[0036] -在所述标本支架上提供校准标本;

[0037] -在非扫描模式下,使用所述成像系统的给定配置,使用所述检测器形成校准标本的校准图像;

[0038] -使用所述校准标本的已知尺度并且将它与所述校准图像中的对应尺度进行比较以校准所述检测器的视场的特性尺度;

[0039] -在扫描模式下,在所述检测器的经校准的视场中记录所述射束的射束图案,并且检查所记录的射束图案以获得其几何方面。

[0040] 如这里所采用的短语“射束图案”应该被宽广地解释为表示通过记录由(聚焦)扫描射束产生的“斑点”的一个或多个位置来创建的图案”。这种位置可以是孤立的(导致“孤立斑点”)或并置的(由此一系列斑点被视为被合并,以形成线/曲线)。特别地,这种图案可包括线性区域——线性区域可例如是实际描绘出的/扫描的(物理)线,或仅是定义端点(孤立斑点)之间的外推概念性(数学)线。该图案还可包括几何形状(诸如,正方形、十字形、三角形等),所述几何形状可由它们的顶点(孤立斑点)和/或它们的边(线)定义。本质上,射束图案基本上是检测器FOV中的一个或多个所记录的射束坐标构成的集合。

[0041] 这个发明方法固有地不同于现有技术,因为它是双步骤方法,该方法使用对漂移相对不灵敏的中间物(成像检测器FOV)作为高放大率域(在非扫描模式下)和低放大率域(在扫描模式下)之间的“转换器”。能够使用微小校准标本(诸如,晶体晶格)在非扫描模式下准确地校准检测器FOV的特性/参考尺度/标度(例如,像素尺寸),并且这个校准的FOV继而随后被用于在扫描模式下校准带电粒子束的扫描运动(的几何方面)。在所述扫描模式下,该方法不依赖于制作标本的扫描图像(标本的扫描图像将会倾向于引入以上提及的漂移效果)而是替代地依赖于记录简单的射束图案(例如,与扫描射束的全幅度X或Y偏转对应的区域)——即,具有能够相对比较容易地在校准的FOV中被量化的特性方面(例如,长度或角度)的纯粹几何实体。在校准FOV时,人们按照成像系统的特定选择的配置(放大率)有效

地校准所采用的检测器。

[0042] 在本发明的实施例中,从包括像素尺寸、边长、对角线长度、直径、场标记的尺度及其组合的组选择所述检测器的视场的所述特性尺度。在本发明的情况下,所述特性尺度的功能是用作“标尺”或“标度”,能够根据所述“标尺”或“标度”测量射束图案的(随后观察的)几何方面。在该方面中,存在关于为了这个目的而对采用的标尺/标度的特定选择的某种自由。除了以上已经提及的像素尺寸(在像素化检测器(诸如,CMOS阵列和CCD)的情况下是相对比较自然的选择)之外,其它选择包括例如FOV的更大标度的尺度,诸如它的宽度、高度、对角线或直径(对于圆形FOV)。替代地,人们能够想到FOV包含(永久)场标记(诸如,有刻度的“瞄准线”或其它类型的标度/网格)的情况,并且所述特性尺度随后被选择为这个标记的特定尺度(例如,标度间距、长度/宽度)。在这个方面,技术人员将会能够做出合适的选择。

[0043] 在本发明的特定实施例中,下面的情况适用:

[0044] -所述射束图案包括沿给定方向的线性区域;

[0045] -所述几何方面是所述线性区域的长度。

[0046] 这种实施例基本上代表本发明的最简单易懂的设定,因为它基本上相当于线长度校准:由扫描射束定义特定线性区域(根据端点或实际描绘的路径),并且随后根据FOV的(预校准的)特性尺度测量这个区域的长度。技术人员将会意识到,能够关于在FOV中描绘出的特定线性区域做出有深刻见解的选择。例如,在STEM中,通常使用一对互补扫描偏转器(例如,电线圈)执行成像电子束的扫描运动,所述一对互补扫描偏转器能够(在XYZ笛卡尔框架中)沿X和Y方向远离沿着Z方向延伸的光轴(传播轴)独立地操纵射束;在这种情况下,所选择的线性区域可以是通过仅X或Y偏转器的全幅度调用而获得的区域或通过两个线圈的50/50调用而获得的对角线轨迹等。

[0047] 在本发明的另一实施例中,下面的情况适用:

[0048] -所述射束图案包括沿第一方向的第一线性区域和沿第二方向的第二线性区域;

[0049] -从包括下面各项的组选择所述几何方面:

[0050] -所述第一和第二线性区域的长度比;

[0051] -所述第一和第二线性区域之间的角度。

[0052] 尽管前一实施例能够被说成是基本上在性质上是“一维的”,但本实施例能够被视为具有“二维”性质。在这个方面,重要的是要注意,根据采用前述校准标本的一个还是两个特性尺度,本发明能够被用于直接在一个维度或在两个维度上校准检测器的FOV。例如,如果校准标本包括具有立方晶格的晶体,则这种标本能够提供两个已知的正交特性尺度(即,立方晶格的边长),并且这些能够被用于直接沿例如X和Y校准FOV。已执行了这种二维FOV校准,检测器现在能够被用于研究STCPM中的非等距成像效果。可例如如下面那样引起这些:

[0053] -成像系统能够引入“优选失真”,由此沿一个方向(例如,X)的尺度相对于沿另一方向(例如,Y)的对应尺度被改变;例如,这种优选失真能够将完美圆呈现为椭圆,或者能够使正方形看起来像矩形。这基本上是粒子光学透镜像差。

[0054] -参照在前一实施例中描述的示例性STEM扫描设置,完美的X和Y偏转器应该理想地产生如下扫描移动:该扫描移动具有相同(最大)幅度(假设所述偏转器具有相等强度)并且互相垂直(假设偏转器相对于彼此正确地对准);然而,偏转器强度和/或对准的缺陷将会使所获得的扫描区域歪斜和/或具有不相等的长度。

[0055] 不管这种非等距的(一个或多个)准确原因如何,重要的是能够量化它的合成/累积效果,以允许采取合适的校正对策。这里呈现的实施例实现这种量化。例如:

[0056] -采用的射束图案包括由X偏转器的全幅度调用产生的第一线性区域和由Y偏转器的全幅度调用产生的第二线性区域(再一次,能够根据端点或实际描绘的路径定义这些线性区域);

[0057] -使用检测器的(二维)校准的FOV,人们确定:

[0058] ·这些相应线性区域的实际长度;

[0059] ·它们之间的实际角度(通过计算正在讨论的角度的正切)。

[0060] -这些线长度的不等性和/或它们的非正交性指示如以上所讨论的非等距。这种不等性的程度允许获得等距的程度/性质。

[0061] 在本发明的另一实施例中,下面的情况适用:

[0062] -所述射束图案包括布置在所述校准的视场中的不同坐标位置处的测试图形的阵列;

[0063] -所述几何方面是作为所述视场中的位置的函数测量的失真。

[0064] 这种实施例能够被视为前一实施例的更复杂的版本,因为前一实施例寻求获得FOV中的(低阶)非等距效果的“粗标度”指示,而本实施例将此改进为“细标度”水平,从而允许对FOV中的(低阶和高阶)失真现象的详细得多的(逐点)研究。在前一实施例中,第一和第二线性区域例如由布置在FOV的邻近的四个不同边缘并且在概念上成对地接合的四个孤立点定义以形成X区域和Y区域。相比之下,在当前实施例中,测试图形(例如,孤立点、小圆、线段等)的整个阵列按照矩阵布置跨FOV区域分布。这种阵列代表更细标度和更规则的“网格”,能够根据该标度和网格测量成像异常(失真)。为了根据气象学准则给出说明性类比,例如,前一实施例可被比作使用风向标进行的简单的风测量,而当前实施例更类似于创建映射的风场(在风场中,小箭头的分布被用于指示局部风向和强度)。执行当前实施例的一个方式将会例如是对STCPM的X和Y偏转器(的设置点)进行编程以操纵扫描射束从而顺序地“访问”被设计为基本上穿越FOV的宽度和高度的全部范围(或其大部分,诸如90%)的规则正交“网”的节点(交叉点)。由射束执行的每个节点“访问”产生由检测器记录的斑点,并且因此人们积累FOV中的这种记录的斑点的二维阵列。在不存在失真的情况下,这个阵列将会精确对应于偏转器设置点的规则正交网;然而,在实际中,失真将会通常使斑点位置偏离所述网的节点。如果在每个节点位置处计算这种偏离的方向和量值,则人们能够产生FOV中的局部失真效果的映射(类似于前述风图)。甚至这种失真映射的偶然的视觉检查将会显示许多细节,例如所谓的“桶形”、“枕形”、“鞍形”或“涡流”失真的存在。然而,通过使用软件以数学方式分析失真映射,通常能够获得甚至更多的细节。在这种后一实例中,人们能够通常将累积/合成失真去卷积成为例如由于移动、旋转、缩放、剪切、歪斜等导致的各种分量失真。最终,以这种方式获得的失真数据能够例如被用于执行下面的操作之一或二者:

[0065] -对FOV执行失真校准。这例如可涉及计算需要被应用于“原始”图像的数学变换以针对如上提及的失真效果校正它。

[0066] -计算和执行去除这种失真的方式,例如通过合适地调整、校正和/或偏转照明器/成像系统中的元件以“预先取消”如上所提及的失真效果。

[0067] 作为以上解释的斑点的正交阵列的可能的替代方案,人们能够例如从(理想)同心

圆的嵌套阵列实现类似信息,所述同心圆的嵌套阵列(实际上)将会通常展示作为阵列中的位置的函数的偏心率。能够检查/测量这种偏心率以产生关于引起这种偏心率的基础失真效果的信息。

[0068] 在针对刚刚描述的实施例的继续实施例中,在扫描模式下获得的失真数据(和由此可实现的失真校准)被作用于在非扫描模式下特别是以比以前用于观察校准标本(例如,晶体)的放大率值低的放大率值(更大FOV)分析失真的基础。这种实施例满足这样的事实:在非扫描模式下,STCPM能够通常具有大范围的工作放大率(例如,三个数量级),并且这个范围的仅一部分(例如,在最大放大率附近)将会被直接用于形成校准标本的上述校准图像。在失真校准检测器的情况下返回到非扫描模式允许在大于观察校准标本时使用的水平的FOV研究失真。

[0069] 通常应该注意的是,一旦STCPM已被使用本发明的方法校准,就能够在下面的任一模式或全部两种模式下有效地采用这种校准:

[0070] -透射模式,其中基于透射通过标本的(一次)带电粒子执行扫描成像。在以下的图1中,例如使用检测器D检测这种透射的辐射;

[0071] -辅助模式,其中基于由标本响应于(一次)带电粒子射束的照射而发射的上述辅助(二次)辐射(例如,反向散射电子、二次电子、X射线、光致发光)执行扫描成像。在以下的图1中,例如使用检测器22检测这种辅助辐射。

[0072] 本质上,本发明能够被视为校准STCPM的“扫描功能”,并且这能够随后被用于不同类型的应用。还应该注意的是,一旦已执行本发明的校准,对经校准的STCPM的随后基于计量的使用不限于图像的定量检查,而是还例如延伸至基于从光谱或衍射图的多点集合获得的信息编译的像素映射的定量分析。

[0073] 还应该注意的是,在本发明中,针对成像系统的特定放大率配置发生对检测器FOV的校准,并且通常这种校准将不可用于其它放大率值;通常,如果显微镜用户决定以另一放大率设置工作,则将会执行再校准。已说过,在按照各种放大率值执行各种校准之后,可制作(FOV的)经校准的特性尺度与放大率设置的图表;如果期望,人们能够随后使用内插/外推来(近似地)获得与某些放大率选择对应的FOV特性尺度。

[0074] 如以上已经阐述的,在本发明中采用的校准标本能够例如包括具有(一个或多个)明确的晶格长度(间隔/间距)的晶体。这种晶体基本上是具有由物理学和化学的基本力确定的网格尺寸/形状的“自然”网格结构。在这种情况下的合适晶体的例子包括例如Si(硅)和Au(金),由此:

[0075] - Si具有立方(钻石状)晶体结构,分别具有0.314 nm、0.271 nm和0.191 nm的沿着(111)、(200)和(220)晶体轴的晶格间距;

[0076] - Au具有面心立方(fcc)结构,分别具有0.236 nm和0.20 nm的沿着(111)和(200)晶体轴的晶格间距。与Si的情况相比,这些间距较小,并且因此通常需要更高的放大率以便被令人满意地成像。

[0077] 如通常所提到的,值得提及的是,如果采用的校准标本包括重复结构(当然当人们正在使用晶体时,情况通常将会是这样),则可方便地通过计算标本图像的(快速)傅里叶变换来获得所述结构的(一个或多个)特性间隔/(一个或多个)间距。在傅里叶域中,存在于重复结构中的各种空间频率可更清楚地证明它们自己。

附图说明

[0078] 现在将基于示例性实施例和示意附图更详细地解释本发明,其中:

[0079] 图1呈现能够在其中执行本发明的实施例的带电粒子显微镜的纵向剖视图。

[0080] 图2示出能够被用于校准带电粒子显微镜的两个不同类型的校准标本的图像。

[0081] 在附图中,使用对应标号指示相关对应部分。应该注意的是,通常,附图未按照比例绘制。

具体实施方式

[0082] 实施例1

[0083] 图1是适合结合本发明使用的STCPM 1的实施例的高度示意性的描述;描述的显微镜是STEM(即,具有扫描功能的TEM),但在本发明的情况下,它能够恰好有效地是例如基于离子的显微镜。在该图中,在真空壳体2内,电子源4(诸如,例如肖特基枪)产生穿越电子光学照明器6的电子束,电子光学照明器6用于将电子射束引导/聚焦到(基本上平面的)标本S的选择区域上。这个照明器6具有电子光学轴8,并且通常将会包括各种静电/磁透镜、(扫描)偏转器、校正器(诸如,像散校正装置)等;通常,它还能够包括聚光器系统。

[0084] 标本S被支撑在标本支架10上,标本支架10能够由定位装置(台)12以多个自由度定位;例如,标本支架10可包括能够(尤其)在XY平面(参见描述的笛卡尔坐标系)中移动的指状物。这种移动允许由沿着轴8(沿Z方向)行进电子束照射/成像/检查标本S的不同区域(和/或作为射束扫描的替代方案,允许执行扫描运动)。可选的冷却装置14与标本支架10处于密切热接触,并且能够例如使用循环低温冷却剂使标本支架10保持在低温温度以实现和保持预期低温。

[0085] 沿着轴8行进的(聚焦)电子束将会以这种方式与标本S相互作用:引起从标本S发出各种类型的“受激”辐射,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)。如果期望,能够借助于检测器22检测这些辐射类型中的一个或多个,检测器22可以是例如组合闪烁器/光电倍增器或EDX(能量弥散X射线光谱仪)检测器;在这种情况下,能够使用基本上与SEM中相同的原理构造图像。然而,替代地或补充地,人们能够研究穿越(穿过)标本S、从标本S出来并且继续沿着轴8(基本上,但通常具有某种偏转/散射)传播的电子。这种透射的电子进入成像系统(组合物镜/投影透镜)24,成像系统24通常将会包括各种静电/磁透镜、偏转器、校正器(诸如,像散校正装置)等。在正常(非扫描)TEM模式下,这个成像系统24能够将透射的电子聚焦到荧光屏26上,如果期望,荧光屏26能够被缩回/收回(如箭头28示意性所指示的)以使其离开轴8的路径。标本S(的一部分)的图像将会由成像系统24形成在屏幕26上,并且这可通过位于壁2的合适部分中的观察端口30观察到。用于屏幕26的缩回机构可例如在本质上是机械的和/或电气的,并且未在这里描述。

[0086] 作为在屏幕26上观察图像的替代方案,特别地在STEM模式下,人们能够替代地利用电子检测器D。为此,调整器透镜24'能够进行动作以移动从成像系统24出来的电子的焦点并且将它们重新引导/聚焦到检测器D上(而非到缩回屏幕26的平面上;参见以上)。在检测器D处,电子能够形成图像(或衍射图),所述图像(或衍射图)能够由控制器50处理并且显示在显示装置(未描述)(诸如,例如平板显示器)上。在STEM模式下,来自检测器D的输出能

够被记录为标本S上的(X,Y)扫描射束位置的函数,并且能够构造一图像,该图像是作为X、Y的函数的检测器输出的“映射”。技术人员将会非常熟悉这些各种可能性,这些各种可能性在这里不需要进一步解释。

[0087] 要注意的是,控制器(计算机处理器)50经控制线(总线)50' 连接到各种图示的部件。这个控制器50能够提供各种功能,诸如同步动作、提供设置点、处理信号、执行计算和在显示装置(未描述)上显示消息/信息。不说自明地,(示意性描述的)控制器50可(部分地)位于壳体2的里面或外面,并且可根据需要具有单一或复合结构。技术人员将会理解,壳体2的内部不必保持在严格真空;例如,在所谓的“环境STEM”中,在壳体2内故意引入/保持给定气体的本底大气。

[0088] 在本发明的情况下,这种显微镜1能够被如下那样使用:

[0089] (i) 合适的校准标本S(诸如,Si晶体)被提供在标本支架10上。在非扫描模式下,这个标本S(的一部分)的图像被投影到检测器D上并且由检测器D记录。这种投影能够以“中间”放大率(例如,大约50kx(50000倍)的数量级)发生,所述中间放大率通常将会足以确保校准标本S的晶格结构清楚可见/可检测。

[0090] (ii) (以视觉方式或/和自动地)检查在步骤(i)中形成的校准标本S的图像,并且把标本S的至少一个已知的尺度(例如,沿着给定晶体轴的特定晶格间距)与它的图像进行比较以便校准所述检测器D的视场(FOV)的特性尺度(例如,像素长度或边长)。如果期望,能够沿超过一个方向执行这种校准;例如,标本S的不同晶格间距能够被用于沿两个互补/坐标方向(诸如,X和Y)校准检测器D的FOV。如上所述的,这种二维校准允许对更高阶失真效果的随后的研究(和校正)。

[0091] (iii) 对于这个过程中的下一(当前)步骤,标本S是不必要的,并且标本S能够被移除(但如果期望,标本S也可停留在合适位置)。在这个步骤中,显微镜1切换到扫描模式(而不改变采用的检测器),意味着沿着轴8传播的电子现在将会采用细射束的形式,所述细射束能够由成像系统6中的(至少)一对偏转器(未示出)任意偏转远离Z轴。以这种方式,所述电子束能够仅“停放”在特定离轴(X,Y)坐标(静态偏转)处,或者它能够被扫描以描绘出轨迹(动态偏转),并且这些行为中的任一行为/全部二者能够由检测器D登记/记录,检测器D将会仅记录针对停放的射束的斑点和针对扫描射束的描绘路径。使用这个机制,例如通过将合适的设置点的流提供给所述偏转器来在检测器D的FOV中创建特定射束图案,并且这个图案由检测器D记录。如上所述,这种图案可包括预先选择的斑点、线、曲线等的配置。

[0092] (iv) 现在检查(以视觉方式或/和自动地)在步骤(iii)中记录的图案。使用在步骤(ii)中校准检测器D的FOV的事实,能够获得/测量/校准所登记的图案的一个或多个几何方面(通过与FOV的上述校准的(一个或多个)特性尺度比较)。这种几何方面可例如包括下面各项中的一个或多个:

[0093] -两点之间的距离;

[0094] -线或线段的长度;

[0095] -两条线之间的角度(无论物理的还是概念的);

[0096] -斑点阵列相对于参考网格的空间偏差等。如上所述,能够从这种数据收集各种参数/各种类型的信息(例如,关于失真的信息)。

[0097] 实施例2

[0098] 图2示出能够被用于校准CPM的两个不同类型的校准标本的图像。更具体地讲：

[0099] 图2A示出传统上用于以相对较低的放大率校准CPM的“交叉光栅”。在这个图中，放大率是10kx (10000倍)，并且视场是12 μm x 12 μm 。

[0100] -能够例如通过将碳的薄层/碳箔沉积到光学衍射光栅上来创建这种交叉光栅。这个碳层随后将会具有由沟槽包围的正方形平顶的三维结构。合适的金属(例如，金钯)随后沿着正方形的对角线之一以低(扫掠)角度被喷溅到碳箔上。喷溅的金属突出显示沟槽的两个“迎风”壁，其中一些金属也在平顶上，而“背风”沟槽将会基本上没有金属。碳箔随后被放置到形成支撑件的金属网格上。喷溅的层的重金属使得可在带电粒子显微镜中很好地看见该结构。

[0101] -关于这种校准标本的不确定性/不准确性尤其起因于采用的薄碳箔(薄碳箔自身具有非常差的刚性)的潜在收缩/膨胀或变形和/或支撑金属网格的弯曲/变形。

[0102] -可从显微镜检查供应商(诸如，英国艾塞克斯郡斯坦斯特德的Agar Scientific - Elektron Technology UK 公司)商购获得如这里所述的交叉光栅。

[0103] -根据该图直接清楚的是，这个类型的光栅相对比较粗糙并且不准确，并且将会因此利用其校准的尺度中存在相对较大的误差容限(例如，大约2%的数量级)。

[0104] 图2B示出能够被用于以相对较高的放大率校准CPM的晶体晶格；在这种特定情况下，描述的结构是硅晶体。在这个图中，放大率是7.2Mx (720万倍)，并且视场是12nm x 12nm。要注意的是，Si原子按照基本上完美规则的矩阵结构进行布置，具有由Si原子之间的键的基本特性确定的明确的晶格间隔；因此，这种晶格间隔(很好地编入目录)用作用于长度校准目的的极好的“已知尺度”。

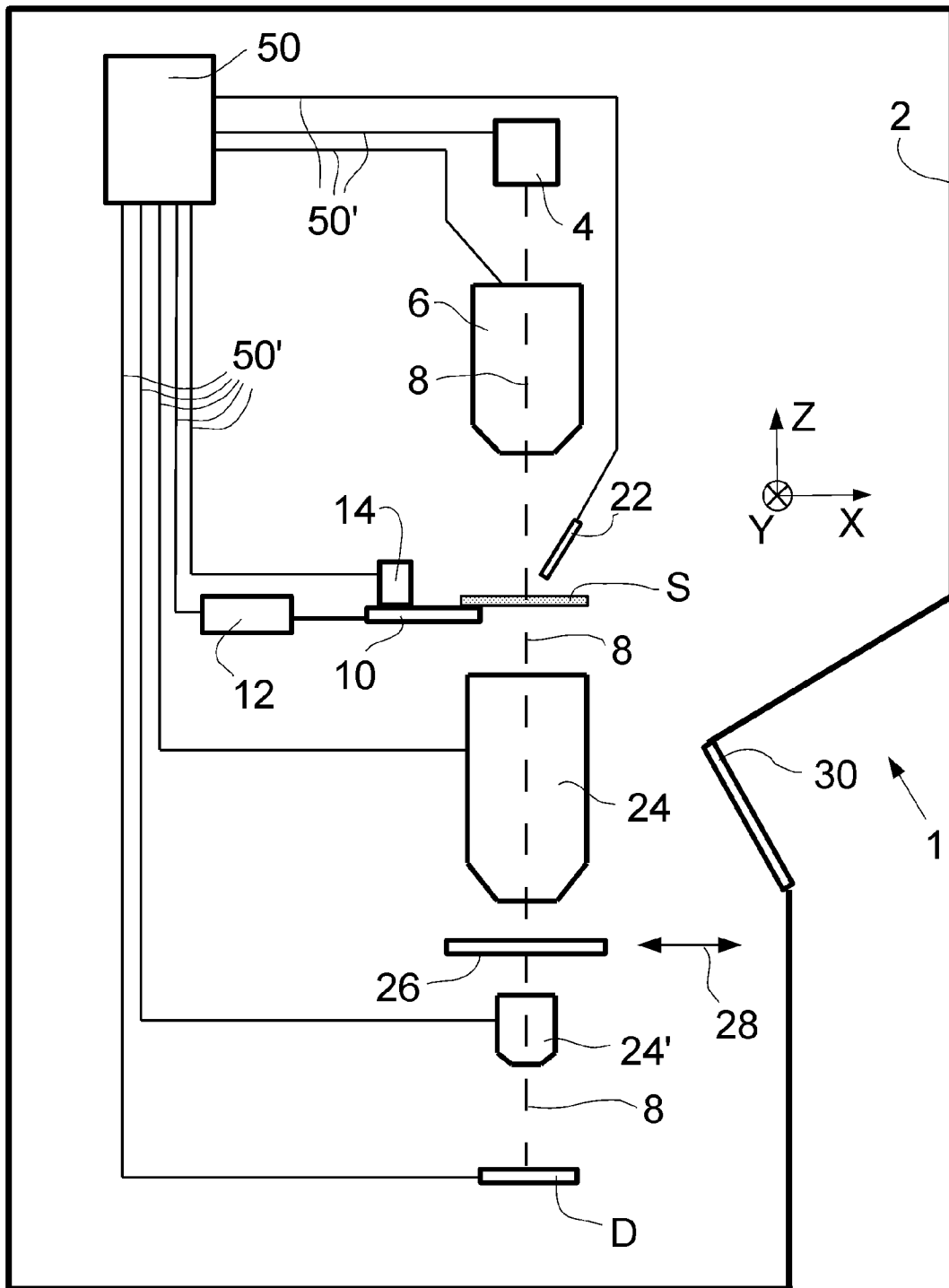


图 1

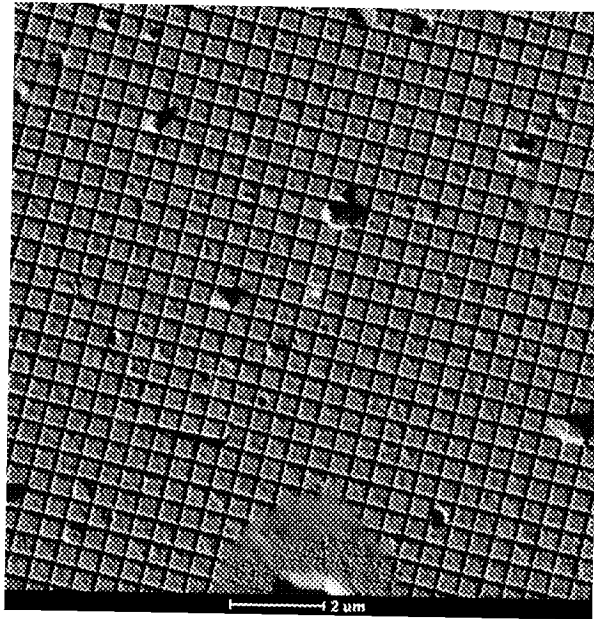


图 2A

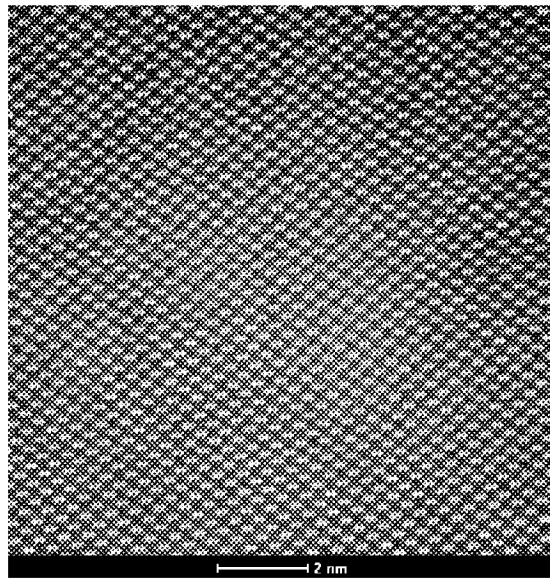


图 2B