



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108352284 B

(45)授权公告日 2020.04.24

(21)申请号 201680059895.3

(22)申请日 2016.08.16

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 108352284 A

(43)申请公布日 2018.07.31

(30)优先权数据  
2015903332 2015.08.18 AU

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2018.04.12

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/AU2016/050757 2016.08.16

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02017/027922 EN 2017.02.23

(73)专利权人 杰拉西莫斯·丹尼尔·达尼拉托斯

地址 澳大利亚新南威尔士州

(72)发明人 杰拉西莫斯·丹尼尔·达尼拉托斯

(74)专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262

代理人 王红英 王漪

(51)Int.Cl.  
H01J 37/26(2006.01)

(56)对比文件  
US 2008073534 A1,2008.03.27,  
CN 1039324 A,1990.01.31,  
CN 103456590 A,2013.12.18,  
US 5362964 A,1994.11.08,

审查员 王海涛

权利要求书3页 说明书8页 附图3页

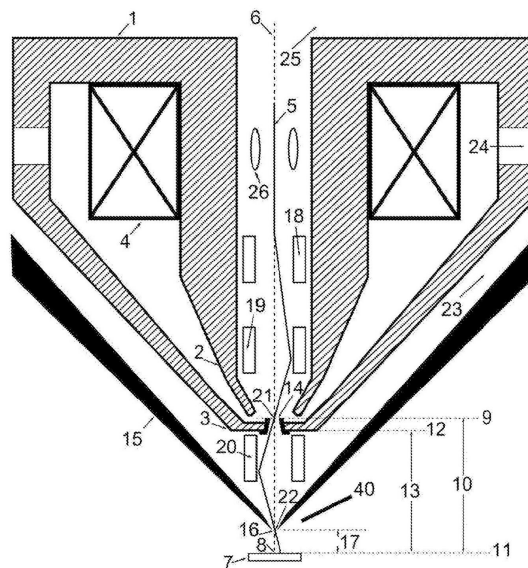
## (54)发明名称

宽场大气压扫描电子显微镜

## (57)摘要

大气压扫描电子显微镜实现了在广泛范围的气体压力、加速电压和图像分辨率下的低放大倍率的宽视场。这是基于使用尺寸减小的压力限制孔径以及位于电子光学柱端部的小孔径处的扫描束枢轴点。第二孔径位于物镜的主平面上。双偏转元件首先在透镜的主平面处或其附近的枢轴点处扫描和摇摆束，而透镜后偏转装置在光学柱的端部处的孔径处或附近的第二枢轴点扫描和摇摆束。第一枢轴处的孔径也可用作束限制孔径。在替代方案中，在主平面上没有束限制孔径的情况下，大量的束射线穿过透镜，以及在最后没有透镜后偏转装置的情况下，束由在最后的透镜处或其下方附近的非常小的孔径形成(限制)同时该孔径撤去宽束的移动部分，该束在主平面上围绕枢轴物理地摇摆，但是有明显的枢轴点靠近孔径且在孔径上方，所有这些导致被检查的样本的宽视场。

CN 108352284 B



1. 一种使用带电粒子光学装置的设备,其用于产生和传播由气体大气级内的样本上的最后的透镜聚焦的带电粒子束,所述气体大气级经由将具有差异抽吸的连续的压力级分开的一系列孔径而与粒子束源的高真空级分开,其特征在于:

(a) 所述带电粒子束被第一偏转装置和第二偏转装置偏转和扫描,使得所述带电粒子束围绕在所述最后的透镜的主平面处或所述主平面附近的第一枢轴点摇摆,同时所述带电粒子束还由第三偏转装置偏转和扫描,使得所述带电粒子束进一步围绕在所述带电粒子束离开所述最后的透镜之后定位的第二枢轴点摇摆;和

(b) 第一孔径被放置在所述第二枢轴点处或附近,而第二孔径被放置在所述第一枢轴点处或附近,其中,所述第一孔径和所述第二孔径限制所述连续的压力级之间的气体的流动,同时允许所述带电粒子束通过;以及

(c) 所述第三偏转装置在所述带电粒子束的传播的方向上位于所述最后的透镜的所述主平面的后面;

或者其特征在于:

(d) 所述带电粒子束被第一偏转装置和第二偏转装置偏转和扫描,使得所述带电粒子束围绕在所述最后的透镜的所述主平面处或附近的枢轴点摇摆;和

(e) 端孔径被放置在所述最后的透镜处或其下方附近,其中,所述端孔径限制来自样本级的气体的流动,而允许所述带电粒子束通过并限制所述带电粒子束的斑尺寸;以及

(f) 具有比所述带电粒子束小的直径的所述端孔径撇去被扫描的带电粒子束的移动部分,以在所述样本的宽区域上形成小的探测斑。

2. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述第二孔径用作束限制孔径以形成小的探测斑。

3. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述第二孔径被移除或被制成大的以允许所述第一孔径用作束限制孔径以形成小的探测斑。

4. 根据权利要求1所述的设备,其中,用于束限制孔径的能够插入的装置被提供在沿着束路径的合适的位置处,以便允许极其接近所述端孔径进行成像。

5. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述带电粒子束的偏转由所述最后的透镜在短焦距处的场力辅助。

6. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,所述最后的透镜是磁性的。

7. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,所述最后的透镜是电的。

8. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,偏转装置是磁性的。

9. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,偏转装置是电的。

10. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,所述样本被放置在开放的大气中。

11. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,所述样本被放置在封闭的大气中。

12. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,抽吸装置被并联连接以独立地抽吸所述连续的压力级,同时排放至开放的大气。

13. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,抽吸装置被串联地互连以抽吸所述连续的压力级,同时泵在所述连续的压力级或连续的泵入口处排放。

14. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,抽吸装置被串联地互连以抽吸所述连续的压力级,同时泵在所述连续的压力级或连续的泵入口处排放;并且其中,从样本室通

过所述第一孔径和所述第二孔径的连续气体泄漏由来自柱的排放气体的再循环来补充。

15. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,从所述样本发射的二次电子由合适的装置检测。

16. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,从所述样本发射的背散射电子由合适的装置检测。

17. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,从所述样本发射的阴极射线致发光由合适的装置检测。

18. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,从所述样本发射的X射线由合适的装置检测。

19. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,从所述样本发射的二次电子和背散射电子由气体检测设备检测。

20. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,从所述样本发射的二次电子和背散射电子由气体检测设备根据从所述样本发出的信号基于环境气体的电离来检测。

21. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,从所述样本发射的二次电子和背散射电子由气体检测设备根据从所述样本发出的信号基于环境气体的闪烁伴着光电倍增器或其他光敏检测器来检测。

22. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,从所述样本发射的二次电子和背散射电子由气体检测设备检测,所述气体检测设备由一个或多个导线或针电极或一个或多个平板电极组成,或由导线、针电极和平板电极的组合组成。

23. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,气体检测设备被放置在所述带电粒子光学装置的壳体的外部。

24. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,气体检测设备被放置在所述带电粒子光学装置的壳体的内部。

25. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,所述设备还包括:动态消像散器和动态聚焦装置,以在最小探针斑尺寸中传递最大束电流;或者与所述第一孔径和所述第二孔径分开的束限制孔径;或电磁屏蔽部件。

26. 根据权利要求1至5中任一项所述的设备,其中,来自各种检测装置的输出被分配不同的颜色,所述不同的颜色将被叠加在设备显示器上的复合彩色图像中。

27. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述第二孔径还能够被放置成远离所述第一枢轴点,而所述第一枢轴点被保持在所述最后的透镜的所述主平面处或附近。

28. 一种使用电子光学柱的大气压扫描电子显微镜的操作方法,所述大气压扫描电子显微镜用于生成和传播由气体大气级内的样本上的最后的透镜聚焦的束,所述气体大气级经由将具有差异抽吸的连续的压力级分开的一系列孔径而与束源的高真空级分开,其特征在于:

(a) 所述束被第一偏转装置和第二偏转装置偏转和扫描,使得所述束围绕在所述最后的透镜的主平面处或所述主平面附近的第一枢轴点摇摆,同时所述束还由第三偏转装置偏转和扫描,使得所述束进一步围绕在所述束离开所述最后的透镜之后定位的第二枢轴点摇摆;和

(b) 第一孔径被放置在所述第二枢轴点处或附近,而第二孔径被放置在所述第一枢轴

处或附近,其中,所述第一孔径和所述第二孔径限制所述连续的压力级之间的气体的流动,而允许所述束通过。

29. 根据权利要求28所述的操作方法,其中,沿着所述束的路径的所述第一孔径和所述第二孔径或附加孔径中的任一个用作束限制孔径以形成探针斑尺寸。

30. 一种使用电子光学柱的大气压扫描电子显微镜的操作方法,所述大气压扫描电子显微镜用于生成和传播由气体大气级内的样本上的最后的透镜聚焦的束,所述气体大气级经由将具有差异抽吸的连续的压力级分开的一系列孔径而与束源的高真空级分开,其特征在于:

(a) 所述束被第一偏转装置和第二偏转装置偏转和扫描,使得所述束围绕在所述最后的透镜的主平面处或附近的枢轴点摇摆;和

(b) 端孔径被放置在所述最后的透镜处或其下方附近,其中,所述端孔径限制来自样本级的气体的流动,而允许所述束通过并限制所述束的斑尺寸;和

(c) 其中,所述端孔径在具有比所述束小的直径时撤去被扫描的束的移动部分,以在所述样本的宽区域上形成小的探测斑;和

(d) 其中,所述束的偏转由所述最后的透镜在短焦距处的场力辅助。

31. 根据权利要求30所述的操作方法,其中,沿着所述束的路径插入束限制孔径,以代替用作束限制孔径的所述端孔径。

32. 根据权利要求28至31中任一项所述的操作方法,其中,所述枢轴点中的任一个的位置沿着所述光学柱的轴线可调节。

## 宽场大气压扫描电子显微镜

### 技术领域

[0001] 本发明一般涉及电子和离子显微镜的技术领域以及电子和离子束技术。

### 背景技术

[0002] 通常的电子显微镜以及特别是扫描电子显微镜 (SEM) 使用电子束探针来检查样本。电子束需要良好的真空, 电子束在真空中由电子枪源产生, 并通过聚焦透镜一直传播到样本。此外, 用于检测从束-样本相互作用形成的信号的许多检测装置也需要真空条件, 然而, 样本在其中严重受限。在过去, 这意味着只能使用脱水样本。另外, 由于电子束传递电流, 因此样本通常应具有导电表面以防止阻碍仪器正常工作的电荷的累积。这意味着通常不能检查绝缘表面。然而, 环境扫描电子显微镜 (ESEM) 的最新的使得在气体环境中检查样本成为可能。在足够压力下的样本周围存在气体包络使得可能保持潮湿条件以便可以观察到处于自然状态的含水样本。另外, 电离气体将电子束电流从绝缘样本表面消散掉, 因此, 这些样本不需要常规用于使其表面导电的预处理。此外, 气体被用作检测介质以检测在样本周围的气体包络中传播和放大的信号。这些信号通常是来自样本的二次电子 (SE) 和背散射电子 (BSE), 其使周围的气体电离并放大经适当装置处理的信号以形成和显示图像或光谱。但是, 视场上的某些缺点仍需要克服。

[0003] 由US6809322B2专利提供的特定现有技术, 除其他公开内容和优点之外, 提供了在不限视场的情况下使用相对较小的压力限制孔径 (PLA) 的可能性。所述技术的权利要求的基础是采用束偏转元件, 其全部被约束在两个PLA之间; 一个孔径 (PLA1) 位于电子光学柱 (column) 的端部, 而束由所述偏转元件围绕在PLA1的平面处或附近的枢轴点摇摆。然而, 将所有偏转元件定位和约束在所述两个PLA之间的必要性的要求对范围、性能和工业适用性造成了一定的限制。

[0004] 由US5362964专利提供的另一特定现有技术, 除了其他权利要求之外, 还提供了两个PLA连同三组束偏转元件。值得注意的是, 所有所述偏转元件在束进入透镜的两极之间的包含其主平面的间隙中的空间之前定位, 即处于透镜前配置。第一孔径 (PLA1) 位于电子光学柱的端部, 而第二孔径 (PLA2) 位于第二和第三偏转元件之间但在主平面之前; 结合磁透镜像场, 所述系统使束围绕在PLA1的平面处或附近的枢轴点摇摆, 产生样本平面处的扩展的视场。然而, 如也通过所述到期的专利缺乏任何商业实施所证明的, 具有偏转器和PLA的所述系统是不可实现的, 没有工业适用性。后者缺点可由以下的本新颖性公开内容来克服。

[0005] 由US8405045B2专利提供的又一现有技术还提供了多组偏转元件以在样本水平处实现大视场: 该束在最后的孔径处围绕枢轴点摇摆, 然而, 为了防止电子束像差并保持分辨率和可用性, 该枢轴点显然位于物镜内部的主平面或其附近。然而, 枢轴点的后一位置对气体环境存在时ESEM类型的仪器中的范围和性能造成了严重的限制, 这要求将PLA1放置在电子光学柱的端部以获得最佳性能。自ESEM技术开始和商业开发以来, 后一项要求尚未在工业上实现。

[0006] 发明的公开内容

[0007] 本发明的目的是公开一种通过新颖的装置在样本平面处具有通常宽视场的大气压扫描电子显微镜(atmospheric scanning electron microscope),其克服了现有技术的限制。这提供了在任何气体的高压下对样本进行检查,并且在位于电子光学柱端部的小孔径上方实际上没有电子束损失。它与ESEM的现有技术相关,但是在低放大倍率下新近改进的视场与高放大倍率下的改进的分辨率、改进的抽吸能力以及对放置在气体环境中的任何样本的改进的信号检测以及成像相结合。我们将本新颖的装置称为宽场大气压扫描电子显微镜,或简称WFASEM。

[0008] 在本发明的一个方面中,公开了一种使用带电粒子光学装置(光学柱)的设备,其用于产生和传播经由一系列至少两个孔径从高真空柱转移至样本室中的高压气体环境中的聚焦带电粒子束。在连续的孔径之间提供独立的抽吸以获得柱的各种部件所需的真空水平。束从其源(例如电子或离子枪)通过光学柱引导至正在检查的样本。所述样本周围的气体沿着束传播的相反方向流动,即朝向束源形成样本室。该气流被所提供的抽吸装置在孔径之间的阶段中截断并最小化,所述孔径限制沿着轴线的气流和气体压力(所述孔径也称为压力限制孔径,或简称为PLA);与先前的术语一致,所述孔径的计数沿着从柱的端部开始的气流的方向。现在,按照如下方式提供一系列在束传播方向上计数的三组偏转元件:第一偏转元件迫使束远离其光轴,而第二偏转元件迫使束返回穿过轴线并再次离开轴线而继续。第三偏转元件最后迫使束在第二点再次返回穿过轴线,然后继续直到束离开轴线撞击样本。第二束-轴线交叉点位于第一孔径(PLA1)处或附近,第一孔径(PLA1)位于最后的透镜下方的单独壳体上的柱的端部处。第一束-轴线交叉点位于第二孔径(PLA2)处或附近。光学柱还需要包括沿着束传播以消除杂散散射的电子的喷射孔径以及一个束形成或束限制孔径(BLA),其限定给定光学柱中的斑尺寸;最初,PLA2也可以充当BLA。相应元件的偏转功率以这种方式可变和同步:以任何期望的方式和尺寸扫描样本表面上方的束。最大扫描尺寸限定每个放大倍率的视场,使得基于SEM的已知原理,最大视场对应于最小放大倍率。通过这种方式,获得以下技术优势:束在样本上远离轴线很远的距离偏转。束像差被最小化以实现尽可能高的分辨率。可以采用最小尺寸的孔径,这使通过柱的气体泄漏量最小化。抽吸需求最小。实际上消除了由PLA1上方的气体散射引起的束损失。最大束电流接着可用于穿过样本上方的剩余气体层,这最大化了设备的范围。

[0009] 在优选实施例中,带电粒子束是电子束,产生具有扩大的视场的环境或大气压扫描电子显微镜。在最大偏转下的视场的实际尺寸由被检查的样本距离孔径的距离来确定,该距离是已知的并被称为环境距离(ED)。然后,在给定束偏转下,视场与ED成比例。在较低的压力范围下,样本可以放置得离PLA1相对较远,并且视场最大。随着样本室内压力的升高,ED变得更短,同时伴随着视场的减小,但虽然如此,仍然远大于PLA1的直径。在任何情况下,视场不会被PLA1以现有商业ESEM型仪器的方式阻挡(渐晕),而只会被传统SEM中的电子光学特性阻挡(渐晕)。

[0010] 实际上,本发明的创造性步骤在优选实施例中通过以下方式实现:(a)将两个扫描(偏转)元件放置成透镜(物镜)前(pre-lens)配置中,且将第三扫描(偏转)元件放置成透过后(post-lens)配置;(b)通过使束首先围绕优选在物镜的主平面处或附近的枢轴点摇摆并且其次围绕在柱的端部处或附近的枢轴点摇摆来扫描束;(c)第一PLA1放置在柱的端部处的第二枢轴点处或附近,并且第二PLA2放置在第一枢轴点处或附近;(d)PLA1的尺寸尽可能

最小而不干扰束形成;以及(e)调节电子光学部件以便以最佳效率操作,例如包括但不限于动态消像散器和动态聚焦装置以消除剩余的束像差并实现尽可能最小的有用束探针。

[0011] 用于获得本发明的相同目的(即气体大气压中的大视场)的替代或可变但更简单的配置利用最后的透镜的场力而不需要对第三偏转元件的组合(同时)使用,这对于由US5362964专利的现有技术来实现是不切实际的。现在,前面所述的透镜下方的壳体被非常小的孔径光阑所替代,该光阑直接安装在最后的透镜的底部处或其附近,而没有先前的疏散路径,也没有第三偏转元件,并且在柱中没有先前的束限制孔径,而入射束仅在透镜的主平面处摇摆。由于PLA1的短焦距和小尺寸,斑现在通过在宽的(未形成的)束扫过小孔径时撇去(换句话说,筛选或采样)束射线的一部分而被形成(限制);对于如此获得的扩展视场,有一个明显的枢轴点更接近PLA1,而真实(物理)枢轴点保持主平面上。

[0012] 本发明的另一实施例通过调节偏转元件中的功率来预期所述枢轴点中任一个的可变位置的选择。

[0013] 成像通过气体检测设备(GDD)配置中的电极系统获得,电极将二次电子与背散射电子分开。X射线微分析(能量色散谱-EDS)是通过合适的检测器获得的,该检测器接近样本安装并且在样本上方对着实质立体角(substantial solid angle)。通过利用电极针或线电极进行成像以释放EDS检测器的空间使后者成为可能。

[0014] 从附图所示的本发明的优选实施例的以下描述中,本发明的这些和进一步的目的将变得明显。

[0015] 附图简述

[0016] 图1图解了具有两个电子束偏转元件和动态消像散器的电子光学柱的最后的透镜,该最后的透镜从下方用通常为圆锥形的壳体包住并终止,该壳体在其尖端处支撑小的最后的孔径并且包围第三偏转元件;样本位于最后的孔径下方短距离处,而该样本通过最初在透镜轴上行进的冲击电子束被扫描。

[0017] 图2图解了图1的底部部分的放大视图,将电子束示出为一束射线,其中央核心会聚到样本上的聚焦斑点。

[0018] 图3是与图2相同的图,除了透镜中的束限制光阑已被移除以允许最后的压力限制孔径也用作束限制孔径。

[0019] 图4是不带外部壳体的透镜的下部的放大图,同时压力限制孔径和束限制孔径均集成在安装在紧邻透镜的下部极片下方的一个单一光阑中;孔径撇去在透镜的主平面处摇摆的扫描电子射线的可变部分。

[0020] 图5是在气体检测设备(GDD)的一个实施例中,在压力限制孔径的边缘附近的环状二次电子检测器连同背散射电子检测器的四个环形象限的平面图。

[0021] 图6是在GDD的另一个实施例中的图5所示的由环形X射线检测器围绕的环状二次电子检测器的平面图,在环状二次电子检测器的前方(下面)是用于检测背散射电子的四个线电极。

[0022] 实施本发明的最佳模式

[0023] 为了帮助理解本发明,现在将参考体现本发明的一些示例的附图。

[0024] 图1中示出了本发明的设备的一个实施例。电子束通过电子光学柱用已知装置产生、聚焦和扫描,仅其相关部分被绘制。该柱的最后的透镜是具有上极片(2)、下极片(3)、电



流导线绕组(4)的磁透镜(1),以在透镜主体中产生磁通量,从而在极片(2)和(3)之间的间隙中生成轴对称的磁场。该磁场用作最初沿系统的轴(6)传播的电子束(5)的聚焦透镜。束最初在轴点(8)处撞击正在检查的样本(物体)(7)。磁透镜的特征在于它的主平面(9)位于距离样本平面一定距离(10)的极片的间隙中。样本在距透镜的底部(12)的距离(13)处,这被称为工作距离(WD)。孔径(14)通过安装在透镜的钻孔(bore)中的非磁性材料光阑形成在主平面处。通常为圆锥形的另一个非磁性材料壳体(15)从下方包围透镜,在其底部有孔径(16)。最后一个孔径距样本的距离(17)称为环境距离(ED)。现在,为了能够检查和成像样本的实质的表面区域,通过偏转元件以光栅形式扫描束。然而,通常小的孔径(14)和(16)的对准如通过现有技术所实施的那样限制了扫描的幅度,因此视场受到孔径(16)的尺寸的限制。这种限制现在通过具有三个偏转元件(18)、(19)和(20)的系统来克服。通过第一偏转元件(18),束从轴线移开,而通过第二偏转元件(19),束移回并在主透镜平面(9)处在孔径(14)内部的点(21)处穿过轴线。在穿过之后,束再次从轴线移开,但是通过第三偏转元件(20)的力,束返回以在孔径(16)内部的第二点(22)处穿过轴线,之后其在离轴线的很大的距离处撞击样本。所有三个偏转元件都是同步的,以便在样本表面上实现连续的扫描光栅。通过这种设备配置,可能允许样本周围的气体环境(否则其应该是真空的),同时足够的电子束能够存活来以常规方式在样本处形成探针。这是通过充当压力限制孔径(PLA)的孔径(16)和(14)来实现的,因为通过第一压力限制孔径(16)(PLA1)泄漏的通常少量的气体经由所提供的空间(23)被泵出系统;通过第二压力限制孔径(14)(PLA2)泄漏的任何剩余气体然后经由外透镜壁中的对称孔(24)和/或经由穿过透镜的内部空间的出口通道(25)被有效地泵出。如随后所述,检测装置(40)优选地被插入在圆锥形壳体(15)的一侧上。

[0025] 在图1的优选实施例中,第三偏转元件(20)看起来完全由壳体(15)包围,其周围有气体流动,但是可以通过(15)的材料的再成形和适当选择将相同的元件完全放置在壳体(15)之外以允许磁场通过抗磁性壳体。类似地,元件(20)可以以允许气体沿方向(23)流动的任何方式与壳体(15)物理连接。元件(20)与壳体(15)的任何集成应该允许PLA1在组件的端部突出,使得检测装置可以被插入在周围而不妨碍环境距离ED(17)。

[0026] 上述类型的透镜仅用于帮助描述整个发明,而没有详尽最高效的电子光学设计所需的其他细节,例如结合动态聚焦和/或动态消像散器(26)。然而,应该参考在光学柱中使用附加孔径来作为PLA以用于进一步差异抽吸以获得电子束源室中所需的最佳真空,或者用于束光学器件本身的其他要求;使用的附加孔径是喷射孔径以消除散射的杂散电子或是电极和透镜中的钻孔以形成或限制和聚焦束。

[0027] 通过仅允许束的中央核心通过,同时阻挡(即筛选出去)外部电子,一个特殊孔径用作探针形成或束限制孔径(BLA)。这决定了在给定加速电压下在给定束电流和给定束源的情况下在样本平面处的束(或探针)的特定斑尺寸的形成。所述BLA被放置在最后的透镜内、或之前或附近的沿着轴线的任何方便的位置处,以便利其他技术要求。BLA的典型布置位于透镜的主平面处,其中束围绕枢轴点(21)摇摆,即BLA可以与PLA2(14)重合;然而,它也可以放置在透镜场之前或之后用于特定目的,而不限制本发明的范围。为了更好地描述BLA在本发明中的作用,现在参考图2。向下传播的电子束(5)首先显示为几乎平行(实际稍微发散)的垂直线条(或射线),其围绕该轴线聚集并表示各电子。落入BLA(也称为PLA2)(14)内的线条被允许穿过透镜,而外部线条则在透镜和BLA光阑壁处完成它们的轨迹。从图解上



看,电子射线(线条)在穿过透镜主平面后会聚到物体(样本)平面(11)处的轴向上的聚焦点(8)。如此聚焦的束随后如图1所示地围绕(14)和(16)内部的枢轴点偏转和摇摆,使得它扫描并光栅扫描(raster)相对大的区域,其范围限定显示在仪器的图像屏幕上的视场(FoV)和该区域的放大倍率。在这种BLA配置中,PLA1比PLA1平面处的电子的会聚光锥的直径略大,以便不会进一步干扰束射线的聚焦光锥的形成。

[0028] 在替代的BLA配置中,图3中示出了另一个实施例,其中图1或图2的先前的光阑(14)被完全去除,而PLA1的尺寸已经减小,以允许与先前图2中确定通过(14)的射线量相同数量的电子射线穿过其本身。通过这种方式,PLA1(16)也以与PLA2先前与BLA结合相同的方式用作BLA。值得注意的是,通过适当选择与其离主平面的距离成反比的BLA(即也是PLA1)的尺寸,图2和图3的两种配置中的焦点深度是相同的;焦点深度由样本处的BLA所对(或相同的,由其在主平面上的图像所对)的角度确定。虽然这种配置具有少一个孔径的优点,但它也具有带有不利效果的BLA污染(例如像散)的较高可能性的缺点。然而,这是用于理解本发明在下面的另一种配置中的创造性步骤的中间可能的设计。通过图3,随着ED(17)变小,聚焦斑包含更多来自先前阻挡的射线而没有不利影响,只要这些射线与束的核心射线具有大致相同的一致性。通过ED的进一步减少,具有较小密度和焦点的更多外围射线进入孔径并在清晰图像的不断减小的圆周围产生朦胧的环形光环,最终限制了在PLA1处或非常接近PLA1的实际使用。

[0029] 在图4中提供的本发明的又一补充实施例中,图3的先前的外部壳体(15)和第三偏转元件(20)被移除,而具有孔径(30)的新光阑放置在透镜的极片(3)的底部处或紧邻其底部(距离其很近的)下方。通过这种方式,透镜可以获得非常短的焦距,仅低于透镜几毫米,和低于其主平面数毫米。上部偏转元件(18)和(19)保持与之前所示的相同以在主平面(9)上的枢轴点处扫描和摇摆束。样本上的点(8)处的未偏转的斑(探针)由BLA(30)光阑阻挡(筛选出去)大部分外部束射线而形成。然而,已经发现那些外部射线仍然可以在需要延伸的视场的最低放大倍率下使用;通过扫描,通过逐渐利用或逐渐撇去束的这些外部射线来在样本上形成斑,其中斑尺寸与最低放大倍率所需的最小分辨率一致。为简单起见,射线在透镜内部被画成直线并且会聚到点(27),但是它们实际上被透镜场弯曲并且延伸到其中明显的枢轴点更接近PLA1(30)的更大的视场。因此,通过具有短焦距的透镜的场的作用来辅助最大偏转角。这种配置允许控制BLA尺寸以从主平面获得会聚束光锥的最佳角度,这根据任何给定类型的电子源产生尽可能最小的斑尺寸。典型的最佳孔径角度范围在5-10mrad之间。由于工作距离非常短,相应的BLA/PLA1一般也非常小;典型的尺寸范围在30-100 $\mu\text{m}$ 之间,使得通过使用尽可能最小的值,BLA也可以用作PLA1,以允许尽可能最小的气体泄漏。结果,通过透镜开口(24)提供的抽吸可能足以获得所需的电子光学真空。这种优点在图1、图2和图3的配置中可能是不存在的,由于在PLA1和PLA2之间并入了第三扫描元件所造成的较长的工作距离。换句话说,在以前的配置中,最小斑尺寸和最小气体泄漏可能都是不利的,但在图4中不是。

[0030] 考虑到图4中设计的优点,我们还必须首先指出缺点,然后提出克服它们的方法。有一个最小距离(17)允许图4的无阻碍成像;对于更短的距离,PLA1/BLA撇去最外面的射线,该射线在中央清晰图像周围形成朦胧和模糊的环形光环,最终覆盖图像并使图像无法使用。典型的数值示例是使用50 $\mu\text{m}$  PLA1/BLA与约为1.5-2.0毫米的最小可用ED(17),而扩

展的视场大于约1毫米。这个示例已经具有实际的优点,因此对于这样小的PLA1, FoV是相当大的。通过使用与更小的ED成比例的甚至更小的PLA1/BLA, 仍然可以克服ED的下限。因此, 当PLA1/BLA直径仅为12.5 $\mu\text{m}$  (即50 $\mu\text{m}$ 的1/4)时, ED的相应极限变为大约0.5mm, 其中FoV大于约250 $\mu\text{m}$ , 与将是所有现有技术配置中的FoV的12.5 $\mu\text{m}$  PLA1相比, 这也被大大提高了。尽管有这样的优点, 也不可能像先前的图1、图2和图3允许的那样将束一直聚焦到PLA1上, 但是这可以在图4中通过提供用于在PLA1上方的某个方便位置处可选地插入BLA的手段来恢复。图4的净优势是尽可能最低的抽吸需求, 且这种极小尺寸的PLA1是可能的, 并伴随着最佳的束转移。

[0031] 在本发明的变体形式中, 偏转元件(18)、(19)和(20)可由具有磁场偏转的线圈绕组或鞍形绕组或由具有电场偏转的电极制成。

[0032] 在另一种配置中, 可以用静电透镜代替磁透镜, 由此, 磁场被也包括如图1所示的主平面(9)的电场代替。

[0033] 磁透镜和电透镜以及磁偏转元件或电偏转元件的各种组合可形成本发明的各种实施例。

[0034] 任何上述公开的束光学组件都需要最少数量的泵以通过压差级移除通过PLA1(16)不断泄漏的所有气体。所述泵可以独立排放到大气中而并联地连接, 或者优选地与在前面的泵或级的入口处的每个泵排放串联地连接。所述不断的气体泄漏可以从开放式系统中的大气提供, 或者从通过再循环将气体从样本室中的柱排放提供。

[0035] 通常圆锥形的壳体或等同的突出几何结构允许将样本尽可能靠近PLA1放置, 即将环境距离(ED)减小到所需的最小值, 以最小化气体中的电子束损失并增加整体仪器性能。这还释放空间以将各种检测器放置在圆锥形状周围, 而不会限制样本的位置和尺寸。具体参照图4, 孔径(30)应尽可能靠近透镜底部放置, 以便增大视场, 但只允许最短距离以安装所需的检测器。如果圆锥形透镜的极片尽可能靠近PLA1/BLA的边缘被截去(truncated), 则后者的要求会被最好地满足。以下提供了优选检测装置(40)的变体, 其与图1、图2、图3和图4中公开的柱设计是兼容的。

[0036] 在本发明的又一特定实施例中, 在某种意义上, 其可能是现有技术(DANILATOS的US 6809322B2)的延续, 图1中的孔径16被移动到一位置, 由此所有偏转元件18、19和20实质上包含在两个孔径14和16之间, 但是不影响该束的三次离轴偏转, 并且不从位置21附近的主平面移动摇摆点。现有技术可能仍然使用两个枢轴点, 即, 一个在主平面处而一个在PLA1处, 但是其还没有特定需要将束枢轴点定位在透镜的主平面处或附近。将摇摆点保持主平面处或附近对于实现最小束像差是关键和重要的, 这在现有技术中是不明显的或者未被现有技术预期或公开。对于针对由于泄露气体的最小束散射通过最小行进距离和最小孔径直径来实现最小电子束损失, 将第二孔径(PLA2)连同摇摆点保持主平面处是重要的; PLA2的任何其他位置必需更大的直径以避免视场的渐晕。因此, 通过本文的图1, 我们以根据现有技术不明显或不被预期的方式总体实现最佳的操作条件。然而, 通过移动PLA2以增加孔径间距离, 所增加的束损失在工业应用中的子集中是可接受的。在后一种情况中, 应理解, 为实际设计目的而选择的被移动的PLA2的精确位置不背离本发明的精神, 因为以上所描述的极端条件之间的任意位置导致只有对于所有实践目的来说都是工业上可接受的束损失的变化。因此, 这个特定实施例一般而言是独立于现有技术的, 除了在所有偏转都实质

上位于PLA1和PLA2之间的特定情况下,它取决于现有技术US6809322B2和是现有技术US6809322B2的延续。因此,PLA2沿着束轴线的移动不背离本发明的精神。

[0037] 现在,任何上述束光学设计都意图以如在能量X射线色散光谱学(EDS或EDX)和分析中的图像或光谱形式获得来自束-样本相互作用的信息。图5示出从任何前面的图的底部看去的平面图中的检测装置。在一种形式中,PLA1(30)被通过绝缘导电路径(31)连接到通向图像显示器的后续电子器件的环形电极(40)紧密包围;这用于通过公知的气体检测(放电)设备(GDD)获得二次电子(SE)图像。在另一种形式中,后者的电极由环形形式中的平板电极的四个象限(50)、(60)、(70)和(80)围绕,它们通过相应的导电路径(51)、(61)、(71)和(81)连接到后续电子器件,其同样地通向图像显示器;这用于通过GDD原理获得背散射电子(BSE)图像的四个不同分量。通过对四个BSE分量的各种组分进行代数求和,组成图像,显示原子序数对比,或与来自任何方向的照明的地形对比;所述对比可以在单独的灰色图像上获得或在彩色组合图像中叠加获得。

[0038] 上述GDD可以基于对通过各种信号对环境气体的电离或伴随着气体的相同电离的闪烁的使用。

[0039] 为了给引入X射线检测释放空间,图6示出通过将四个BSE象限检测器减少为连接到在(56)、(66)、(76)和(86)处相同的电子器件的简单暴露的导线(或针)(55)、(65)、(75)和(85)来对先前的图5的修改。通过这种方式,紧邻所述四条BSE导线上方释放的空间现在被X射线检测器(90)(也称为EDS)占据,该X射线检测器(90)的形状为环形以最大化X射线收集角度,但是它可以具有适用于所有实际用途和其他X射线要求的任何其他方便的形状和位置。

[0040] 以上在图5和图6中描述的优选检测器不限制例如用于阴极射线致发光(cathodoluminescence)的其他检测器类型的使用,这些检测器类型可以围绕本发明的电子光学柱集成或构建。GDD检测器的不同形状的电极(如限定单独的检测气体体积的线框和线栅)、用于BSE信号的固态检测器、光导管和光敏设备(如光电倍增管和光电二极管)可被同样采用。

[0041] 尽管为了方便,在上文描述的优选实施例中频繁提到使用电子束,但是相同或类似的实施例可以并入任何其他带电粒子束,例如已经在别处使用的离子束。

[0042] 应该理解的是,图1、图2、图3、图4、图5和图6不限制本发明的范围和设计。各种参数可以变化以获得不同应用中的不同信息。在不背离本发明的精神的情况下,可以对其做出各种改变和修改,这对于本领域的技术人员将是明显的。

[0043] 还应该理解的是,本发明的范围不受用于实现本教导的特定类型的电子光学器件的限制。一般来说,现有的电子光学设计可以与本发明的公开内容整合。然而,通过重新设计现有的电子光学器件以最佳地适应本发明的公开内容而获得更好和改进的结果以及这样的优化将不会被解释为偏离本发明的精神。

[0044] 经由各种电子光学设计的本发明的教导的任何特定实施例不偏离本发明的范围和精神。

[0045] GDD电极的针或其他形状也可用于由透镜的聚焦作用或者有目的地引入电磁场源产生的磁场或电场,以进一步控制在检测器的气体体积内产生的电子和离子。

[0046] 再次,在不背离本发明的精神的情况下,可以对其做出各种改变和修改以允许与

其他仪器的组合和集成,这对于本领域的技术人员将是明显的。

[0047] 工业适用性

[0048] 传统的SEM严格限于在真空中检查样本,而本发明允许在接近其自然环境的气体大气中检查样本。然而,在现有的商用ESEM型仪器中,低放大倍率的宽视场的提供受到限制,将该特性恢复成如常规SEM中那样将是重要的优点。

[0049] 本发明公开的新颖的WFASEM具有与优化的分辨率、最小的束能量和抽吸要求相结合的所述优点。这些和其他优点为所有相关行业提供了强有力的创新。

[0050] 另一个优点是在从真空电子光学器件转移到高压环境期间束的损失最小。因为在本发明的实施例中有意识使用了小得多的压力限制孔径,所以形成在孔径上方的超音速气体射流明显更小,并且因此在孔径上方的区域中出现显著更少的电子或离子束损失,与已选择使用具有不利效果的相当大的孔径的现有技术中的情况相反。较小的束损失也通过沿电子束路径实现的更好的真空来获得,这反过来又提高了信噪比。

[0051] 另一个优点是样本室内可以承受的较高压力范围,因为真空电子光学器件与样本室之间的更好分离,这反过来提供最小的抽吸要求。

[0052] 本发明的实施例一般应用于使用带电粒子束的所有仪器,例如通常在样本表面上扫描的电子和离子束探针。这样的仪器包括扫描电子显微镜、扫描透射电子显微镜、电子束微分析仪、环境扫描电子显微镜和在用于微细加工的微电子工业中使用的离子/电子束仪器。电子束用不同类型的电子枪产生,如钨、六硼化镧和场发射枪。同样,用不同类型的电或磁透镜实现束的聚焦。在任何或所有这些工业应用中,并入本公开内容将不会被视为背离本发明的精神,而是作为本发明的工业实用性。

[0053] 专利文献

[0054] Knowles等人的美国专利5362964,1994。

[0055] Danilatos的美国专利6809322B2,2004。

[0056] Preikszas等人的美国专利8405045B2,2013。

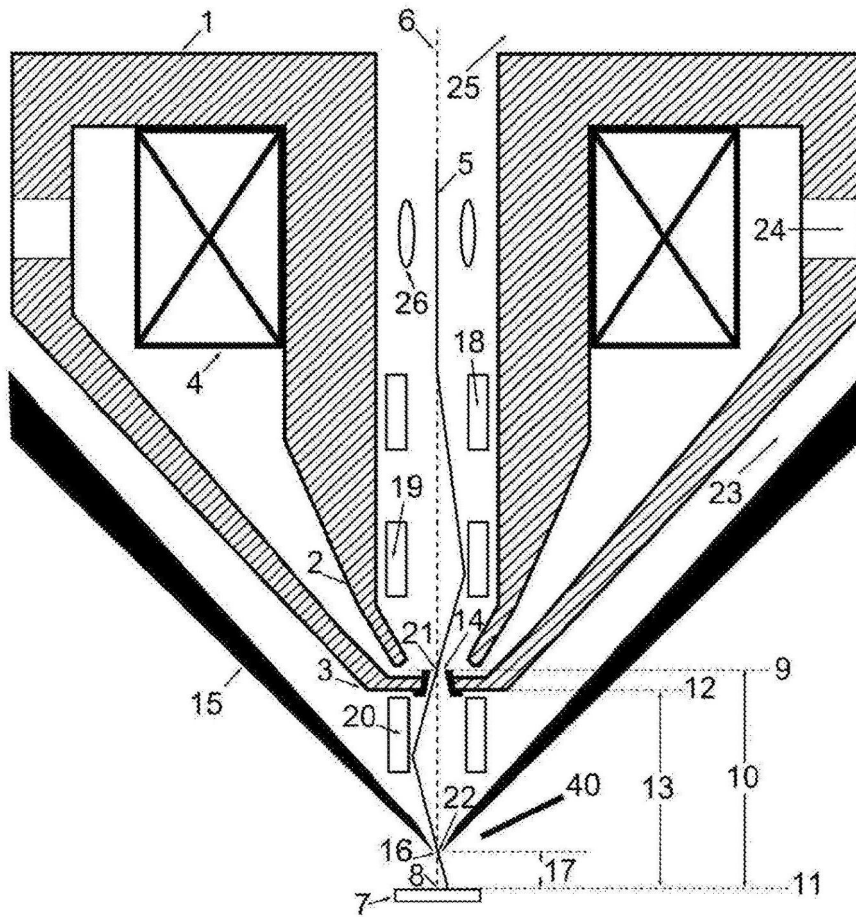


图1

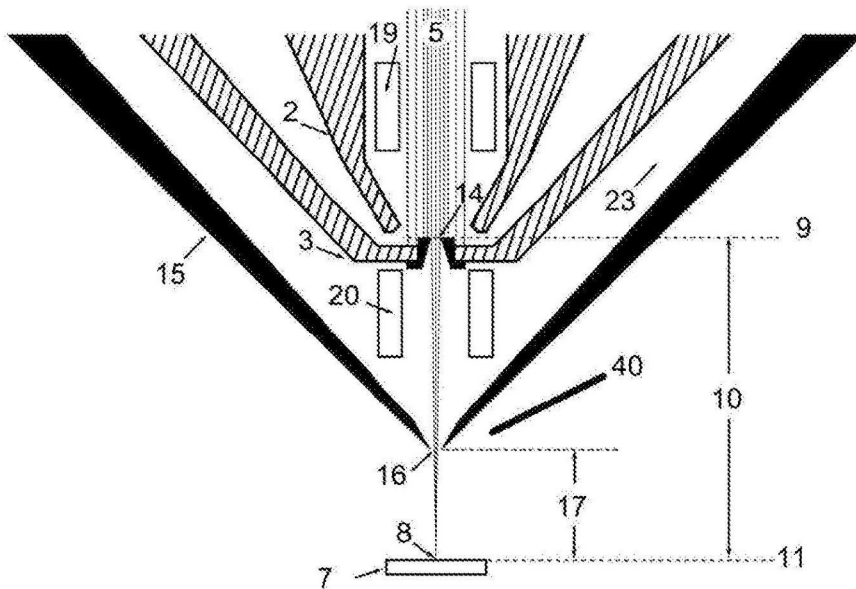


图2



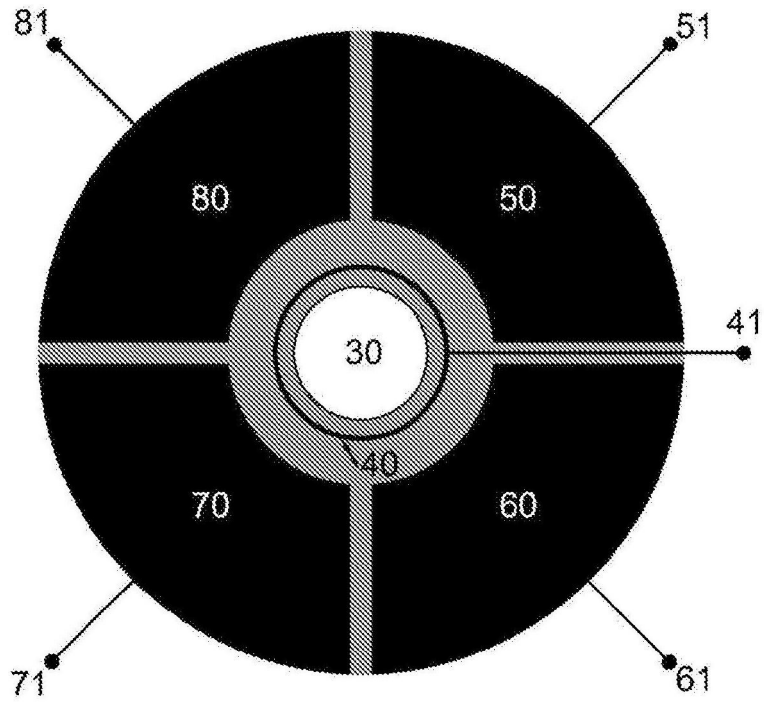


图5

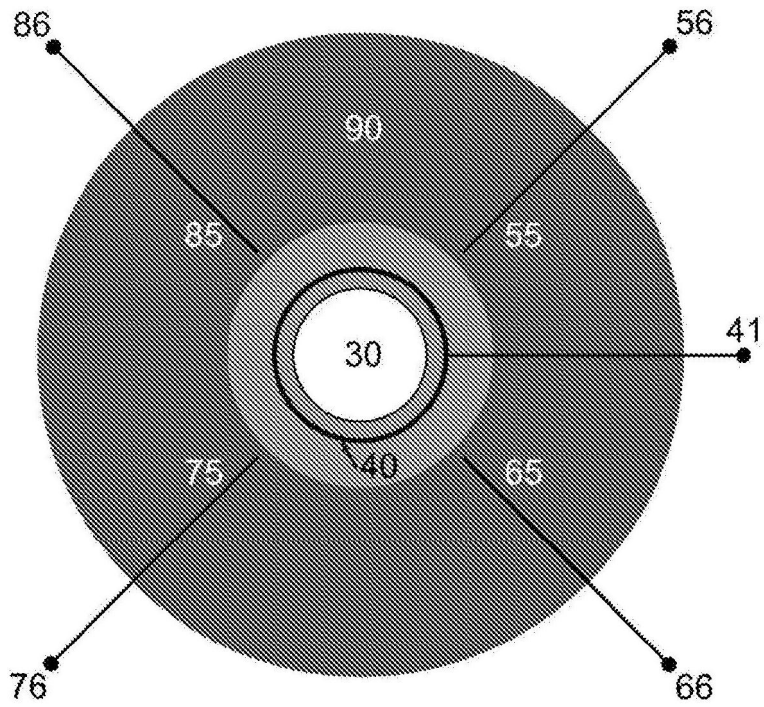


图6